



HAL
open science

Modélisation transport-environnement. Revue des modèles et analyse des conditions socio-institutionnelles de développement.

Cyrille Harpet, Eric Baye, Celine Paris

► To cite this version:

Cyrille Harpet, Eric Baye, Celine Paris. Modélisation transport-environnement. Revue des modèles et analyse des conditions socio-institutionnelles de développement.. [Rapport de recherche] Economie & Humanisme - Laboratoire d'Economie des Transports LET. 2006, 202p. <hal-01771835>

HAL Id: hal-01771835

<https://ehesp.hal.science/hal-01771835v1>

Submitted on 19 Apr 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

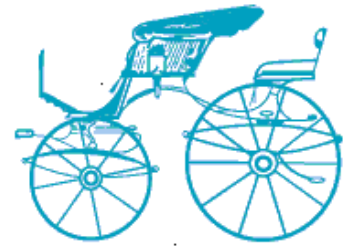
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization



Economie & Humanisme



**Laboratoire
d'Économie des Transports**

Programme national de Recherche et d'innovation dans les Transports terrestres
à l'initiative des ministères de la recherche, des transports, de l'environnement et de l'industrie,
de L'ADEME ET DE L'ANVAR



GROUPE OPERATIONNEL N°7

« impacts énergétiques et environnementaux des transports »

www.predit.prd.fr

MODÉLISATION TRANSPORT - ENVIRONNEMENT

**Revue des modèles et analyse des conditions
socio-institutionnelles de développement.**

Diagnostic et recommandations pour les acteurs de la recherche en France

Économie & Humanisme – Laboratoire d'Économie des Transports

responsable PREDIT : Laurent Lanquar

Marché n° 0303 C0014

Février 2006

ADEME



**Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie**

MODÉLISATION TRANSPORT - ENVIRONNEMENT
Analyse des conditions socio-institutionnelles de développement

Missions : CANADA - JAPON - ALLEMAGNE - ANGLETERRE

Responsable de projet Cyrille HARPET
avec la contribution d'Eric BAYE
et Céline PARIS (recherche documentaire)

Traducteurs :
Jean-François FOURCADE (France-Allemagne)
Myriam REINHARDT (France-Angleterre)

Économie & Humanisme

SOMMAIRE

Remerciements.....	4
Synthèse de l'étude	5
1- Introduction	7
2- La démarche proposée	9
3. Cadre général de la recherche universitaire à l'international	12
4. Cadre de la recherche au sein de la commission européenne.....	14
5. Pratique de la modélisation dans les laboratoires universitaires	16
6. Les modèles identifiés.....	19
7. Rappel des étapes de la recherche.....	23
8 - La recherche dans les domaines.....	26
modélisation transport / environnement.....	26
au CANADA.....	26
I. Introduction	26
1. Programmes de recherche Transport / Environnement	26
2. Mission au Canada.....	29
II. Le contexte de la recherche canadienne	30
III. Pratiques de la modélisation dans les laboratoires universitaires.....	32
1) trois grandes démarches de modélisation.....	32
2) L'innovation	36
3) Les modèles identifiés	38
4) Essai de typologie des modèles.....	40
IV. Recherche et développement.....	43
Nom du modèle.....	44
Organisme d'origine	44
Caractéristique générale.....	44
V. Les échanges internationaux	48
Annexe 1 : Liste des acronymes et abréviations	49
Annexe 2 : Les ressources documentaires.....	50
Annexe 3 : liste des organisations consultées.....	51
9. La recherche dans les domaines.....	56
modélisation transport / environnement.....	56
au JAPON	56
I. Introduction : contexte et présentation de la mission.....	56
1. Contexte	56
2. Mission au Japon.....	57
Lieux	58
II. Les principaux acteurs du système de production d'innovation en matière de modélisation des transports.....	59
1. L'offre : La recherche	60
2. La demande : Les autorités centrales et locales, les entreprises de transport	65
3. Les associations / instituts académiques et techniques à vocation (inter)professionnelles.....	67
III. Lien transport / environnement dans les priorités de la politique de transport.....	70
IV. Recherches en modélisation des transports et orientations/perspectives en lien avec les préoccupations environnementales	71
1. L'attrait de la recherche en modélisation des transports.....	71
2. Revue des experts.....	72
3.L'ouverture internationale.....	74
4. Interprétations conclusives.....	76
Annexe 1 : Tableau des chercheurs (universitaires) japonais et la modélisation des transports	78
Annexe 2 : Abréviations et acronymes	85
10. La recherche dans les domaines.....	86
modélisation transport / environnement.....	86
En ALLEMAGNE	86
I. Introduction : contexte et présentation de la mission.....	86
1. Contexte	86
2. Mission en Allemagne.....	88
II. Les principaux centres de production de la recherche en Allemagne.....	92
1.L'offre de recherche universitaire.....	92

2. L'offre de recherche hors université	94
3. La demande : Les autorités centrales et locales, les entreprises de transport	98
III. Les laboratoires universitaires de recherche en modélisation des transports	102
IV Les sociétés d'ingénierie des transports	104
1. La société PTV (Karlsruhe).....	104
2. La société TTK (Karlsruhe), filiale de PTV.....	106
3. La société AVISO (Aachen)	107
4. La société Wegener et Spiekermann (Dortmund)	108
5. Le cas spécifique du Wuppertal Institut (Wuppertal).....	109
V Les collectivités locales.....	110
VI Les partenariats scientifiques et de recherche.....	113
VII Typologie des modèles Transport / Environnement	116
VIII La valorisation de la recherche en modélisation	146
Annexe 1 : Répertoire des organismes allemands de recherche par villes	149
Annexe 2 : Liste des principales universités allemandes (liens sites Internet).....	152
Annexe 3 : Liste complémentaire de cabinets allemands d'ingénierie Transport	156
Annexe 4 : Liste des organismes allemands dans le domaine des transports :	157
11. La recherche dans les domaines	160
modélisation transport / environnement.....	160
en ANGLETERRE.....	160
I. Introduction : contexte et présentation de la mission.....	160
1. Contexte	160
2. Mission en Angleterre	162
II. L'organisation territoriale britannique et la recherche sur les Transports	165
1. Organisation administrative et territoriale.....	165
2) L'environnement dans la politique britannique et dans l'éducation	167
3) Système et recherche universitaire britannique.....	168
4) La recherche universitaire en matière de transport.	170
III- Les spécificités de la recherche Transport / Environnement.....	172
1) Brève analyse comparée des spécificités de la recherche universitaire	172
2) L'ingénierie conseil dans le privé.....	178
IV. Recherches en modélisation des transports/environnement : pluridisciplinarité, applications et transferts	179
1) Compétences multiples et approches transversales.....	180
2) L'environnement.....	182
3) Modélisation des impacts sur l'environnement, des flux, de la demande de transport	182
4) Les projets de recherche en modélisation	188
5) Partenaires scientifiques de recherche	190
V. Conclusion	191
Annexe 1 : Compléments sur les logiciels européens :	193
Annexe 2 : Les documents scientifiques cités.....	195
Annexe 3 : Liste des acronymes et abréviations	195
CONCLUSION.....	198

Remerciements

Ce rapport de recherche mené dans le cadre du PREDIT groupe 7, par les deux équipes lyonnaises d'Economie & Humanisme (Cyrille Harpet et Eric Baye), du Laboratoire d'Economie des Transports (LET, Charles Raux, Jean-Pierre Nicolas, Cécile Godinot), est le résultat d'échanges fructueux avec les partenaires de la recherche française et étrangère. Nous tenons à citer les personnes qui nous ont accordé un temps précieux pour faciliter ce travail et les remercions ici vivement de leur collaboration. Nous remercions les deux interprètes français ayant contribué aux traductions des entretiens, à savoir Jean-François Fourcade (mission Allemagne) et Myriam Reinhardt (mission Angleterre), apportant un sérieux et professionnalisme dans le cadre de ce projet ainsi que Céline Paris pour la consultation WEB des universités étrangères.

En France : Charlotte Hugret (INRETS-Bron), Henri Jamet (INRETS-Bron), Robert Joumart (INRETS-Bron), Jacques Lambert (INRETS-Bron).

Au Canada : Marc Gaudry (université de Montréal), Georges Zaccour (GERAD, Montréal), Maryse Labriet (GERAD / GREIGE, Montréal), Lael Parott (Université de Montréal), Changhui Peng (UQAM /GREF), Michel Gendreau (CRT, HEC/Université de Montréal), Rosa Galvez-Cloutier (Université de Laval, Québec), Céline Labossière, Fadi Balesh, Markes Cormier, Yves Bourrassa, Michael Donohue (Environnement Canada (Ottawa), André Bourbeau (Transport Canada, Ottawa), Alec Simpson (Transport Canada Ottawa), David J.Robinson (Agence d'évaluation environnementale, Ottawa), Brett Taylor (Environnement Canada, Ottawa-Gatineau), José Prades (UQAM, GREIGE, Montréal), Robert Hausler, Mathias Glaus (ETS STEPPE, Montréal), Robert Gagné (HEC Montréal), Mario Gauthier (Université de Montréal), Bernard Jouve (Faculté des sciences humaines, Montréal), Laurent Lepage (UQAM, Institut Sciences de l'environnement, Montréal), Robert Chapleau (Ecole Polytechnique de Montréal, groupe MADITUC)

En Allemagne : David Schmedding (université de Karlsruhe), Dirk Zumkeller et Bastian Chlond (université de Karlsruhe), Ulrich Brannolte et Mac Farland (PTV et université de Weimar), Frederic Reutenauer (PTV), Thomas Balser (TTK), Baumüller et Ulrich Vogt (ville de Stuttgart), Bartolomaüs et Auerbach (BAST), Karl-Otto Schallabock et Susanne Böhler (Wuppertal Institut), Arnold Niederau (AVISO, Aachen), Klaus Spiekermann (GmbH W&S, Dortmund).

Au Japon : Fujii Satoshi (Tokyo Institute of Technology), Harata Noboru et Ohmori Nobuaki (University of Tokyo), Ohta Katsutoshi (Tokyo University), Shimizu Tetsuo (University of Tokyo), Yai Tetsuo, Muromachi Yasunori, Fukuda Daisuke (Tokyo Institute of Technology), Meiarashi Seishi (Public Works Research Institute), Itoh Makoto, Furuichi, Hibino Naohiko (Institute for Transport Policy Studies), Aoyama Yoshikata, Nakagawa Dai, Karatani Yuka (University of Tokyo), Morikawa Takayuki (Nagoya University), Yamamoto Toshiyuki (Nagoya University), Hayashi Yoshitsugu (Nagoya University), Kakishita Yoshihiro, Kubota Hidenobu (Ministry of Environment, Environmental Policy Division).

En Angleterre : Mike Mac Donald, Jianping Wu, Besh Sultan (Southampton), Helena Titeridge (Londres), John Preston (Oxford), Glenn Lyons et Phil Goodwin (Bristol), Anil Namdeo et Miles Tight (Leeds, ITS).

Synthèse de l'étude

L'étude proposée ici vise à voir dans quelle mesure les expériences étrangères de modélisation croisant transport et environnement pourraient inspirer de nouvelles pratiques de recherche, d'expertise professionnelle, ainsi que de nouvelles attentes de la part des donneurs d'ordres responsables de la planification des déplacements. Il se situe en droite ligne avec les travaux réalisés depuis plus de dix ans par les deux équipes dans le domaine de la planification des transports, tant en terme de réflexion sur l'innovation en ce domaine, qu'en terme de pratique de la modélisation. L'hypothèse de base de ce travail est qu'il est difficile d'envisager une réflexion en terme de transférabilité des «bonnes pratiques» en matière de modélisation, sans considérer en même temps les configurations socio-institutionnelles qui en déterminent l'émergence. Une première étape a consisté à inventorier les laboratoires de recherche dont les travaux se situent à ce niveau d'interface modélisation Transport/Environnement. Une enquête de terrain auprès de quatre pays de l'OCDE (Canada, Japon, Allemagne, Angleterre) a permis de caractériser certaines conditions de production et de développement de la recherche et de l'ingénierie dans les domaines des transports et de l'environnement. Il ressort alors, sur la base des monographies (une quarantaine) des organismes de recherche (publique et privée) établie par l'équipe d'E&H, que l'intégration progressive de la problématique environnement ou sinon l'évolution des modèles vers la prise en compte de paramètres écologiques devient une préoccupation constante. Historiquement, deux événements internationaux ont contribué à l'émergence de la problématique environnement dans la recherche en modélisation : la conférence des nations unies pour l'environnement et le développement en 1992, puis la signature du protocole de Kyoto en 1997 dans la lutte contre le changement climatique. Nous en retrouvons l'incidence sur l'orientation des travaux de modélisation quant à la prise en compte de la pollution atmosphérique, de la demande et de la consommation énergétique, puis des émissions de gaz à effet de serre. La revue des modèles identifiés dans les pays de l'OCDE, soit une quarantaine au total pour les quatre pays visés par l'étude, revue entreprise par le LET, fournit un état de l'art en modélisation transport/environnement. Ce sont alors 32 modèles qui sont explicitement conçus dans une logique d'intégration Transport/Environnement selon une grille d'analyse de type 'forces motrices, pressions, états, exposition, effet, action' (DPSEEA de l'OMS) et 'forces motrices, pressions, états, impacts, réponses' (DPSIR de l'OCDE et de l'Agence européenne de l'environnement). Les modèles ainsi caractérisés portent sur les modes de transport routier, à l'échelle des aires urbaines et inter-urbaines, sur des perspectives de court et long terme (prospectifs, écoulement de trafic etc.) et sur des chaînes unimodales et multimodales. L'équipe de recherche a adopté une analyse hiérarchisant les niveaux d'impacts environnementaux générés par les transports routiers pour clarifier d'emblée la notion d'environnement. Les principaux impacts caractérisant alors la pression exercée par les transports et faisant l'objet des travaux majeurs de modélisation sont ceux relatifs au bruit (8 modèles dont 6 spécialisés), à la pollution locale de l'air (16 modèles identifiés, dont 10 spécialisés), à la consommation énergétique (11 modèles dont aucun spécialisé), à la contribution à l'effet de serre (14 modèles dont aucun spécialisé). Les pays sont présents de façon très disparate sur ces champs d'investigation et ce pour des orientations politiques de la recherche : le Canada est par exemple positionné essentiellement sur les travaux de modélisation de type macro-économique d'évaluation des coûts de réduction des gaz à effet de serre et de la demande énergétique

(AERCOST, AQVM-MEQA, CIMS, E 2020, IFSD, MAPLE C, MARKAL, MOBILE6.2C) ; l'Allemagne est très présente sur les modèles de dispersion et de concentration des polluants aériens locaux (ASTRA-ENV, CADNAA, IMMI, LIMA, MLus-MEPAT, PROPOLIS, ROTRANOMO, STREET-MISCAM, TREMODE,); le Japon porte ses travaux plus spécifiquement sur les impacts du bruit et de la pollution aérienne locale (ADMER, ASJ, DRONE, LCIA-Road transport noise); l'Angleterre se positionne très nettement sur la modélisation de simulation des trafics et des émissions de polluants aériens locaux (ROADFAC, TEMMS, ADMS-Urban, DRACULA). Cet inventaire a permis de construire une typologie des modèles T&E (Transport & Environnement) à même de représenter l'étendue de la couverture des champs environnementaux par ces modèles : par niveaux d'échelles (planétaire, régional, local), dans la chaîne DPSEEA, selon les horizons temporels (instantané, court et moyen terme, long et très long terme). Les programmes internationaux de recherche en modélisation comportent pour certains de véritables opportunités d'articulation ou d'intégration des problématiques Transport/Environnement (MARKAL résultant du programme ETSPA de l'International Energy Agency ; le modèle COPERT III, résultant d'un partenariat de laboratoires et instituts de recherche sur les transports, avec une diffusion par l'Agence européenne de l'Environnement ; le modèle SMP conçu par le groupement de 170 entreprises au sein du World Business Council for Sustainable Development, WBCSD). Les programmes européens de recherche tendent à se développer dans ce sens au fil des directives prises quant à l'harmonisation des normes (évaluation des impacts liés au bruit sur les territoires urbains avec HARMONOISE ; le modèle spatial désagrégé PROPOLIS impliquant un consortium de recherche européen), voire à suivre un élargissement des pays impliqués (modèle ASTRA fédérant 29 pays dont les 25 membres de l'union européenne).

Cet état des lieux des pratiques de modélisation met en évidence un avancement net des travaux menés dans une recherche à la fois collaborative (entre laboratoires, entre entités publiques et privées, entre pays, entre continents) et fédérée autour des enjeux écologiques à la fois locaux et globaux. Une première suggestion des transferts de bonnes pratiques table alors sur une pratique linguistique commune à vocation professionnelle (l'anglais), une veille assidue sur les programmes internationaux et européens favorisant les mutualisations des expériences et compétences, enfin des échanges renouvelés d'étudiants, de chercheurs et d'enseignants issus d'horizons disciplinaires distincts et distants mais enrichissant l'approche intégrée.

1- Introduction

En France, la modélisation dans les transports est traditionnellement l'objet de débats, au niveau de la demande finale, souvent au sujet des conditions de production et d'utilisation des modèles (valeur des hypothèses, accessibilité et fiabilité des données, objectifs implicites du modèle, difficulté pour les utilisateurs finaux de comprendre vraiment la logique des outils installés par les consultants...). Pourtant, bon an mal an, les modèles, diffusés sous forme logiciels, sont de plus en plus utilisés par les décideurs, pour des raisons qui tiennent largement à la complexité croissante des problèmes de déplacements, au recours à des instruments de simplification de la réalité qui facilite le positionnement des acteurs les uns par rapport aux autres (aide à la prise de décision), à la sophistication des outils qui permettent des approches plus « multimodales » (modèles *Trips* ou *Davisum*) et/ou plus fines de certaines réalités (transports publics, fret urbain avec *Freturb* ou *Quinquin Fret* par exemple), à des modes de prises de décisions locales qui cherchent à s'appuyer sur des options quantifiées de manière rationnelle (coûts, flux...), enfin au recours accru de la maîtrise d'ouvrage à des bureaux d'études de planification des transports pour lesquels la modélisation est partie intégrante du professionnalisme qu'ils affichent (par exemple Steer Davies Gleaves au Royaume-Uni) est précisément de savoir accompagner leurs clients dans une démarche de prise de recul par rapport à l'outil et à ses résultats.

En France, la modélisation des transports et des déplacements s'intéresse depuis quelques années déjà à l'articulation de problématiques de flux (de déplacements) à des problématiques environnementales, en particulier les émissions de polluants et la consommation d'énergie, le bruit, et d'une certaine manière l'emprise au sol qu'impliquent les projets de transports. Il existe désormais plusieurs outils, élaborés par les laboratoires de recherche (comme le LTE de l'INRETS à Bron), voire des entreprises commerciales (par ex. ACRIST et le modèle *Samaa*¹) : modélisation des effets sonores dues aux contacts véhicules - chaussées, des comportements des gaz d'échappement par rapport à un gabarit de voirie donné... Cela étant, ces modèles n'ont pas pour finalité de rendre compte ou de prévoir les déplacements. Les modèles « de déplacements », eux, n'abordent que progressivement la question environnementale, en particulier au niveau de la recherche. Un travail antérieur remis à l'ADEME (Baye, Blancher et alii, 2002) suggère qu'aujourd'hui une minorité d'entre eux prend en compte de manière significative la dimension environnementale dans la modélisation : modèle d'émissions de polluants (CESA VST), GENEVA (nuisances sonores, localisation et circulation, THEMA, Université de Franche Comté). En outre, un prolongement des travaux peut être entrepris avec le concept de BEED (Budget Energie Environnement des Déplacements et Simulation de Choix Modal ; DEST INRETS), lequel apporte une méthodologie de calcul des économies d'énergie, des émissions de polluants et des possibilités d'intermodalité des transports. En revanche, plusieurs responsables de laboratoires soulignent qu'il y a dans le croisement déplacement / environnement à la fois une insuffisance française et une voie d'avenir pour la recherche nationale (Baye, Blancher, et alii, 2002).

¹ Planification des transports : choix d'infrastructures routières et détermination de son impact sur la qualité de l'air.

Autre point essentiel, les modèles peuvent rarement être analysés indépendamment de la prise en compte du contexte institutionnel qui préside à leur élaboration² (voir le travail de Dupuy en 1975). Celle-ci renvoie souvent aussi à un processus de commande publique ou privée, à un pari disciplinaire et de reconnaissance scientifique (association d'équipes de disciplines différentes...), et en aval à un pari commercial (commercialisation de *Trips* ou de *Saturn* par exemple).

Le développement de la modélisation ne dépend donc pas que des laboratoires de recherche. D'abord, leur activité de modélisation dépend largement des crédits dont ils disposent. Lorsqu'il s'agit d'établissements publics à vocation spécialisée (INRETS en France, BAST en Allemagne, DTRI au Danemark, CROW aux Pays-Bas, PWRI au Japon, etc), les travaux reflètent en partie les préoccupations partagées à un moment donné par les pouvoirs publics (report modal vers les TC, sécurité, modèles prospectifs, etc.). Ensuite, les bureaux d'études et les structures publiques et para publiques qui appuient appui la maîtrise d'ouvrage sur le terrain sont des maillons essentiels du développement de la modélisation, et de la formulation même des attentes exprimées par les collectivités à l'égard des modèles. L'histoire de la modélisation est riche d'exemples de modèles élaborés par des chercheurs puis développés et/ou commercialisés en aval sous des formes logiciels professionnels par des bureaux d'études (*Polydrom*, *Emme 2*, *Trips*, *Davisum*...). Ainsi, la production et le développement de modèles de transports intégrant des dimensions environnementales, comme celui de tous types de modèles, s'inscrivent dans un contexte bien particulier, de configurations socio-institutionnelles propres à chaque pays.

Concernant ces modèles croisant transport et environnement, l'expérience française est récente. S'intéresser à ce qui se passe à l'étranger devrait permettre de mieux anticiper, voire de provoquer, des évolutions qui paraissent de toutes façons inéluctables.

² Comme G. Dupuy le montrait déjà dans « Une technique de planification au service de l'automobile : les modèles de trafic urbain », Action Concertée de Recherche Urbaine, 1975, 203 p.

2- La démarche proposée

La présente recherche « modélisation transport/Environnement ; revue des modèles et analyse socio-institutionnelle de développement » s'inscrit dans le cadre du thème 5 de l'axe 2 de l'appel à propositions du PREDIT groupe 7. Ce travail vise à voir dans quelle mesure les expériences étrangères de modélisation croisant transport et environnement pourraient inspirer de nouvelles pratiques de recherche, d'expertise professionnelle, ainsi que de nouvelles attentes de la part des donneurs d'ordres responsables de la planification des déplacements. Il se situe en droite ligne avec les travaux réalisés depuis plus de dix ans par les deux équipes, de Economie & Humanisme (E&H) et du Laboratoire d'Economie des Transports (LET) dans le domaine de la planification des transports, tant en terme de réflexion sur l'innovation en ce domaine, qu'en terme de pratique de la modélisation. L'hypothèse de base de ce travail est qu'il est difficile d'envisager une réflexion en terme de transférabilité des « bonnes pratiques » en matière de modélisation, sans considérer en même temps les configurations socio-institutionnelles qui en déterminent l'émergence.

Le rapport de la présente recherche comprend trois grands chapitres reprenant explicitement les phases principales de la proposition initiale du projet PREDIT Groupe 7. Ainsi nous explorerons dans une première partie le contexte international de la recherche en matière de modélisation Transport/Environnement, et ce à partir d'une investigation sur Internet. Cette première approche permet de rendre compte de la production de modèles et d'en établir un premier inventaire avant d'opérer un focus sur les pays de l'OCDE puis sur quatre pays faisant l'objet de nos investigations sur le terrain. Cette première partie s'accordera ainsi à restituer les configurations institutionnelles et socio-économiques de quatre pays en matière de recherche de modélisation Transport / Environnement. En effet, ces contextes très diversifiés que sont ceux du Canada, du Japon, de l'Allemagne et de l'Angleterre offrent une vision élargie des conditions de production et de développement d'outils de modélisation des interactions transports/environnement. Cette partie relève des missions réalisées sur place par l'équipe d'Economie & Humanisme (E&H).

Dans la seconde partie, le Laboratoire d'Economie des Transports (LET), a procédé, à partir des modèles identifiés auprès des acteurs de la recherche et du développement des quatre pays cités, à une revue des modèles puis à une analyse critique des modèles sur la base d'un guide méthodologique. Cette revue des modèles Transport / Environnement fournit ainsi un état de l'art en modélisation afin d'évaluer des conditions de transferts de bonnes pratiques de l'étranger vers la France (monde de la recherche, pouvoirs publics, bureaux d'études).

La troisième partie comprend un guide méthodologique présenté sous forme de fiches de description des modèles identifiés et jugés pertinents au regard de la problématique modélisation Transport/Environnement (MTE). Ce guide s'inspire des démarches déjà entreprises en ce sens en France avec l'action de recherche du CNRS INVENTUR³ initiée en 1998 et l'Inventaire des Modèles de Transport (IMT)⁴ lancé par le PREDIT en mai 2000. D'autres travaux comme la série APAS de revue des modèles de transport réalisée à l'initiative de la Commission Européenne seront utilisés. La recherche considère les modèles de transport uniquement terrestre routier, excluant les modes de

³ Voir <http://www.cerma.archi.fr/inventur/inventur.html>

type ferroviaire/ ferroutage. Par ailleurs, les modèles observés et analysés relèveront des espaces urbains et interurbains (voire régionaux), des types unimodaux et multimodaux (ou estimés tels par leurs promoteurs...), de long terme ou de court terme (modèles prospectifs, modèles d'écoulement du trafic...).

Plusieurs champs disciplinaires revendiquent le fait de faire de la modélisation des transports : sciences de l'ingénieur, économie, géographie et aménagement, mathématiques, analyse système... Dans ces conditions, la sélection des revues ou ouvrages nécessaires à la revue conduit inévitablement à privilégier certains types de modèles (par exemple les modèles économétriques) au détriment d'autres (par exemple les modèles géographiques). On se concentrera sur les familles de modèles qui sont développées par les institutions reconnues comme spécialisées dans les transports, dont les positionnements par rapport aux questions environnementales ont le plus d'impact, en aval, sur les pratiques professionnelles de la planification des déplacements et sur les attentes des décideurs publics.

Les moyens mobilisables pour le présent projet comparés à la vastitude du sujet conduisent à insister sur son objectif limité : stimuler une réflexion des milieux spécialisés en France. Il s'inscrit surtout dans un processus de sensibilisation des acteurs de la recherche, de l'expertise et des pouvoirs publics, dans un contexte européen notamment : A notre connaissance, aucun travail du type de celui qui est ici proposé n'a été réalisé, au moins en français. Trois caractéristiques construisent son originalité :

- Il envisage une double approche, celle du contexte de la modélisation et celle de la modélisation elle-même, partant de l'idée que la possibilité de développer un modèle ne saurait être uniquement appréciée à travers ses seules qualités intrinsèques. C'est par cette double approche qu'il escompte arriver à des conclusions pragmatiques qui permettent de dépasser deux écueils : le sentiment d'un perpétuel retard par rapport aux expériences étrangères, et la thèse d'une spécificité française qui rendrait inutile toute démarche internationale comparative.

- Le rapport final se veut être un document à la fois clair et suffisamment intelligible pour stimuler à la fois les acteurs de l'offre de modélisation dans les domaines des transports et de l'environnement et ceux de la demande.

- ce travail doit ouvrir à terme des voies de collaboration entre organismes de recherche, ou des perspectives de configurations institutionnelles en France et avec l'étranger (du type appel d'offres de recherche conjoint franco-allemand sur les transports lancé récemment sur le fret, protocoles d'échanges annuels de l'ADEME avec le Japon...).

- De multiples revues de modèles de transports sont réalisées régulièrement : INVENTUR (dans le cadre du PREDIT), la veille assurée à travers LIBERGEO et CYBERGEO (modèles spatiaux), projet européen SMARTTEST piloté par l'ITS de Leeds sur les modèles de micro simulation⁵ (ITS, 1997) ou encore les différentes réflexions portées ou supportées par le DETR⁶. Le présent projet de recherche ne saurait prétendre à arriver à des « produits » aussi achevés, qui exigent des ressources

⁴ Voir <http://www.predit.prd.fr/02-Predit/Imt/>

⁵ S. Algers, E. Bernauer and alii, 1997, Review of Micro-Simulation Models, SMARTTEST, ITS Leeds, 62 p.

considérables. En revanche, il pourrait confirmer l'intérêt d'une base de données, destinée à enrichir ultérieurement le site web PREDIT, et spécifiquement consacrée aux modèles interactifs transports environnement.

Rappelons qu'un des traits frappants de la recherche sur la modélisation des transports en France se caractérise par une ouverture relativement faible sur l'étranger, en dehors de certaines équipes comme celles de l'INRETS (DEST, avec le Québec) ou encore le laboratoire THEMA d'André de Palma⁷. Les contrats européens, lourds, ne se traduisent pas nécessairement par les rapprochements scientifiques que laissent espérer les partenariats. La relativement faible ouverture des équipes françaises à l'international s'explique par trois types d'obstacles auxquels les laboratoires sont confrontés : linguistiques, culturels (approches de la modélisation) et financiers (politique de publication et de participation aux manifestations scientifiques). Par ailleurs, les investigations précédentes ont mis en lumière l'intérêt notable, quoique loin d'être dominant, et semble-t-il croissant, des travaux français de modélisation pour des positionnements à la confluence de l'environnement et de l'étude des flux de déplacements : parmi la trentaine de modèles identifiés ou identifiables grâce à un nom spécifique, six cherchaient à intégrer, plus ou moins, les dimensions environnementales à leur objectifs et démarches : *Geneva* de THEMA Besançon, le modèle analytique de A. De Palma, le modèle d'émission des polluants et *Dlocat* du CESA VST, le modèle *RES* de l'INRETS - DERA. Encore ne s'est-on pas intéressé, pour des raisons liées au cahier des charges, aux modèles « de congestion », ni aux modèles proprement environnementaux développés par le LTE de l'INRETS.

Cet intérêt hexagonal pour les modèles interactifs rejoint une démarche de la recherche internationale déjà largement engagée, si l'on en juge par le nombre de laboratoires déjà concernés par cet axe de recherche. La présente étude apporte des nuances au constat un peu sombre d'une faiblesse des relations internationales engagées par les laboratoires français de recherche en modélisation des transports, puisque nombre des laboratoires étrangers (Canada, Japon, Allemagne, Angleterre) font mention de programmes ou de projets communs avec certains laboratoires français.

Du point de vue de la méthode, il a été décidé pour des raisons de coût et de temps de s'intéresser d'emblée aux laboratoires étrangers sans faire le détour par les sources d'information françaises, précisément du fait de leur faible ouverture, en dehors de quelques incontournables, comme le LTE par exemple. De fait, les éléments disponibles sur Internet constituent une base extrêmement riche de données de départ.

⁶ Par ex. DETR, 2000, Transport 2010 – The 10 Year Plan « Tackling the Congestion and Pollution : Background to the Modelling Process (modèles des prévisions de trafic sur les routes nationales *NRTF* et *Stemm* notamment). Voir aussi Simmonds Consultancy and ME&P, 1999, Review of Land-Use Interaction Models, DETR, 72 p.

⁷ Bilan de compétences des laboratoires de recherche français en matière de modélisation des déplacements de voyageurs et de marchandises, Economie & Humanisme, E.Baye, P.Blancher, A.Chi, V.Lichère, rapport PREDIT - ADEME, 2002.

3. Cadre général de la recherche universitaire à l'international

Le premier travail d'investigation réalisé a essentiellement consisté, conformément au calendrier de la proposition, à effectuer un état des lieux des recherches conduites à l'étranger, en particulier dans les pays de l'OCDE, et plus spécifiquement dans les pays anglo-saxons.

Cette analyse des configurations rend compte du dynamisme global de la démarche de modélisation interactive transport / environnement dans un ensemble large des pays de l'OCDE. Elle se fonde sur les informations disponibles sur Internet complétées d'entretiens téléphoniques (ou dialogues par e-mail), auprès des grands instituts de recherche publics sur les transports⁸, et d'un panel de bureaux d'études déjà identifiés dans un document récent comme les plus actifs en planification des transports (Baye, 1999).

Une première revue des sites sur Internet a permis de recenser sur quatorze pays européens et anglo-saxons les principaux laboratoires universitaires concernés par la recherche à l'interface du transport et de l'environnement. Ce premier inventaire des universités identifiées quant à leurs axes de recherche en modélisation Transport / Environnement, comptabilisant près de 60 universités, est présenté ci-dessous dans un tableau récapitulatif :

Pays	Organismes
USA (hors US Environment Protection Agency)	<ul style="list-style-type: none"> - Massachusetts Institute of Technology (CTL) - University of California, Berkeley (IURD) - University of California, Berkeley (Transportation Center) - University of California, Berkeley (ITS) - Texas Southern University (CTTR) - University of South Florida (CUTR) - University of Minnesota (CTS) - University of California (Davis) - University College Davis, California (ITS)
Canada	<ul style="list-style-type: none"> - Ecole Polytechnique de Montréal et Université Polytechnique de Montréal (CRT) - Université de Montréal (RCM2) - Université Laval (GRIMES) - Université du Québec à Montréal (GREIGE) - Université du Québec à Montréal (GERAD) - Université d'Ottawa (Environment Institute) - Université de Toronto (TEP)
	<ul style="list-style-type: none"> - Imperial College London (CTS) - University of Westminster - University of Leeds (ITS)

⁸ VTT (Finlande), BAsT (Allemagne), CROW et TNO STB (Pays-Bas), DTRI (Danemark), TRL (Royaume-Uni), VTI (Suède), PWRI (Japon), TØI (Norvège), etc.

Royaume-Uni	<ul style="list-style-type: none"> - University of Leeds (Environment Center) - University of Leeds (School of Geography) - Transport Research Laboratory - University of West England, Bristol (Faculty of the Built Environment) - Napier University Edinburgh (School of the Built Environment) - University of Hertfordshire (Department of Environmental Sciences) - University of Ulster (TPPG) - University of Cardiff (Cardiff Business School) - University of Bristol (CTS) - University of Oxford (School of Geography and Environment) - University of Greenwich (Department of Earth and Environment) - University of Bristol, (Air Quality Resource Management Centre)
Eire	<ul style="list-style-type: none"> - Trinity College Dublin (DCSEE)
Pays-Bas	<ul style="list-style-type: none"> - CROW (ITC TCT) - TNO MEP (Milieux, Environnement, Process) Département de l'Evaluation des Emissions - Technical University of Delft (Faculty of Engineering and Geosciences)
Suède	<ul style="list-style-type: none"> - Chalmers University of Technology (Logistics and Transportation) - Transport Research Institute
Finlande	<ul style="list-style-type: none"> - VTT Building and Transport
Autriche	<ul style="list-style-type: none"> - Graz University of Technology
Allemagne	<ul style="list-style-type: none"> - Institut für Verkehrsforschung (DLR), IFV à - - Technische Universität München - BAST à Gatenau - Technische Universität Darmstadt, Institut für Verkehr - University of Mainz (Institute for Atmospheric Physics) - University of Dortmund, Institute of Spatial Planning - Universität Dortmund Fachgebiet Verkehrswesen - Universität Dortmund, Institut für Energie und ökologische Raumentwicklung - Universität Wuppertal, Institute of Urban Studies and Sustainable Infrastructure Planning
Australie	<ul style="list-style-type: none"> - University of New South Wales (ITS, School of Business) - Griffith University (School of Environmental Planning) - Australian School of Environmental Studies
Danemark	<ul style="list-style-type: none"> - Aalborg University

	- Technical University of Denmark - Environmental Research Institute, Department of Atmospheric Environment
Italie	- Ca' Foscari University Venice - Université de Brescia
Belgique	- Université Catholique de Leuven (Transport and Mobility)
Grèce	- Université de Thessalonique

Ce travail d'inventaire, non exhaustif, ne comprend toutefois pas les pays asiatiques (principalement le Japon et la Corée, mais aussi Hong Kong). Cette première étape a cependant permis d'identifier des éléments indispensables aux développements à venir : noms de départements, réseaux ou équipes, noms de chercheurs, publications scientifiques (revues internationales de rang A), noms de modèles ou de programmes de recherche (comme SMEDIS pour l'évaluation des modèles de dispersion des polluants). Cette première étape a en outre permis de mieux cerner la question même de la modélisation croisant transport et environnement, ou en tous cas de formuler des hypothèses intermédiaires à vérifier lors des entretiens directs à conduire dans les pays visés par les investigations directes (Canada, Royaume-Uni, Allemagne, Japon). Il faut signaler à cet égard qu'une grande partie des recherches sur les interactions transport environnement concernent soit les impacts, soit l'introduction de nouvelles technologies (nouveaux types de transmission, électronique embarquée et mesure de consommation et de pollution, etc.) et techniques (revêtement des chaussées, aménagement de la voirie, etc.) qui associent plus volontiers les industriels. Celles qui s'inscrivent dans une perspective de planification ou d'organisation des déplacements demeurent, en l'état actuel de nos connaissances, relativement limitées en nombre, même si l'on pressent autour d'un triple croisement transports / environnement / aménagement, un champ tout à fait intéressant et original, notamment développé autour des géographes (voir par ex les travaux du Prof. Wegener de l'Université de Dortmund). D'une certaine façon, on retombe sur une configuration qui n'est peut-être pas aussi éloignée du terrain français. La différence cependant, est que de nombreux laboratoires visiblement très investis dans ce type de recherche sont en même temps les majors de la recherche en transports dans le monde (ITS de Leeds, MIT et Berkeley, CRT Montréal...), avec des moyens probablement proportionnellement plus importants que ceux dont disposent leurs homologues français.

4. Cadre de la recherche au sein de la commission européenne.

Suite à l'inventaire des universités, nous avons entrepris un recensement des projets de la Commission Européenne susceptibles de rentrer dans le cadre de notre recherche, en particulier le contenu de plusieurs programmes parmi lesquels les PCRD, les programmes COST et les projets de la DG TREN.

Pour les PCRD (Programme Cadre de Recherche et de Développement de la Commission Européenne ([PCRD](#))), la priorité thématique sur les transports apparaît dans le 6ème PCRD. Le

ministère de l'équipement français, au travers la DRAST (Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques) participe à la définition des orientations de cette priorité et des appels à proposition qui en découlent. En complément, cette direction suit les autres priorités thématiques du PCRD qui peuvent concerner le ministère (énergie, recherches socio-économiques, technologies de l'information et de la communication, ...).

Il faut alors rappeler que la Commission européenne comprend une Direction générale de l'Energie et des transports, sise à Bruxelles, et placée sous l'autorité de Jacques Barrot, Vice-président de la Commission européenne, Commissaire en charge des transports et Andris Pielbalgs, Commissaire en charge de l'énergie. La Direction générale compte environ 1000 fonctionnaires et est dirigée par Matthias Ruete, Directeur général. La Direction générale de l'Energie et des transports travaille en étroite collaboration avec d'autres Directions générales par exemple dans les secteurs de l'élargissement, l'environnement, la recherche et les relations internationales.

Le programme de coopération [COST](#) (European CO-operation in the field of Scientific and Technical research) a été mis en place pour répondre au plus près aux besoins des chercheurs qui souhaitent travailler avec leurs homologues des autres pays de l'Union européenne. Les actions et thèmes de recherche sont proposés par les chercheurs eux-mêmes, et la Commission rembourse les frais de mission et les frais de publication des travaux collectifs. La DRAST suit les travaux des comités techniques COST sur le génie civil urbain et sur les transports.

Le repérage des programmes⁹ de recherche à l'initiative de la commission européenne peut s'effectuer par des entrées « thématiques » au croisement de notre problématique Transport / Environnement, à savoir en se reportant aux thèmes :

- **Energie**, avec la matière « système énergétique durable » (sustainable energy systems), comprenant des axes de recherches croisées en :
 - **Socio-economic research** - assessing and monitoring the impact of all energy options on society, the environment, the economy and employment.
 - **Policy**-related research - studying the impact and consequences of policies and measures related to energy supply and demand, the economy and the environment.
 - **Modelling** - analysing different strategies for energy production and use, and elaborating short- and long-term scenarios to improve sustainability.
 - **Data collection** - improving the quality of data that underpins the elaboration of policies and strategies.
- **Environnement**, avec des thèmes de recherche tels que :
 - **Climat change**
 - **Land management**

⁹ http://europa.eu.int/comm/research/index_fr.cfm

- **Urban sustainability and cultural heritage**
 - **Sustainable development tools**
- **Transport** avec des programmes de recherche sur le long terme (Framework Programmes for RTD (FPs), tels que FP5 (1998-2002), FP6 (2002-2006), et des ouvertures sur les recherches innovantes telles que l'ITS (Intelligent Transport Systems):
- [Intelligent Transport Systems - Transport Directorate-General website](#)
 - [Transport White Paper](#)
 - [The Trans-European Transport Networks \(TEN-T\)](#)
 - [GALILEO satellite navigation](#)
 - [Intransnet \(project website\)](#), INTRANSNET – the Network of European medium- plateforme de coopération entre les acteurs européens de la recherche Transport, et favorisant le portage de projets de recherche coopérative entre membres de la communauté européenne.¹⁰
- **Sécurité** : concernant plus particulièrement les enjeux liés aux risques technologiques et terroristes, il est toutefois possible de trouver des liens avec des Centres de recherche conjointe (JCR, Joint Center Research, <http://projects.jrc.cec.eu.int/search>), notamment sur les questions de « santé publique liée à la qualité de l'air » ([FP6 2112° Air Quality and Health](#), avec recours à des modèles de dispersion), de systèmes de transport durable à partir de scénarios de nouvelles technologies ([FP6 2154° Technology scenarios for transport sustainability](#)), de caractérisation des émissions atmosphériques ([FP6 2113° Emissions Characterisation and Inventories](#)).

5. Pratique de la modélisation dans les laboratoires universitaires

La pratique de la modélisation à laquelle on s'intéresse ici se situe à la confluence de deux courants d'enseignement et de recherche appliquée : d'une part la planification des transports et les études de déplacement, d'autre part l'ingénierie de l'environnement (encore que ce terme lui-même reste relativement flou du point de vue de la classification des disciplines) et tout particulièrement la pollution de l'air, les nuisances sonores et « l'ingénierie énergétique ». En toute rigueur, il faudrait en

¹⁰ [BEACON](#), Building environmental Assessment Consensus on TEN-T (Strategic Environmental Impact Assessment SEA); [EMOGES \(de\)](#), Tracking and tracing of hazmat in tunnels; [INITIATIV \(de\)](#), ICT based innovative services in local public transport; [FLEXIBLE RZW](#), Innovative interior design concepts for competitive long distance rail travel; [CITYPORTS \(de\)](#), ICT based optimisation of waste collection (fleet management); [SUGRE](#), Sustainable Green Fleets - Promoting Conversion to Alternative Propulsion ; [ETRA.CC](#), Empowering Transport Research with the Special Focus on the New Accession States and the Candidate Countries;

ajouter un troisième, celui des géographes, ou des spécialistes de l'espace, courant dont nous avons déjà pointé la richesse, mais que nous rattacherons, pour l'instant, au premier évoqué ici.

Le premier courant se rattache historiquement à l'origine à l'ingénierie civile, mais on sait combien les apports disciplinaires se sont diversifiés depuis les années 60 pour concerner aujourd'hui les économistes, les mathématiciens, les géographes et les cybernéticiens et l'ingénierie système (Baye et alii, 2003). Cette première catégorie est relativement hétéroclite elle-même, mais elle reste, au niveau international, centrée autour des grandes approches économiques et mathématiques des flux de déplacements. Les axes de recherche depuis une vingtaine d'années sont révélateurs du dynamisme des explorations, avec notamment l'élaboration de modèles interactifs transports aménagement, et surtout la sophistication de la modélisation dynamique et l'essor des modèles microscopiques. On aboutit quoiqu'il en soit à des modèles qui ne sont, fonction des cas, ni de même natures, ni de même finalités. En terme d'organisation de la formation et de la recherche, on retombe cependant généralement sur le même milieu scientifique, organisé autour des grands centres d'études ou de recherche sur les transports. Les revues dans lesquelles sont publiés les travaux relatifs à la modélisation sont notamment

- Transportation Research,
- Transports,
- Transport Economics,
- Transportation Journal
- Journal of Transportation & Statistics (USA)
- Journal of Advanced Transportation (USA)

Le second se rattache à une tradition de recherche sur la compréhension des phénomènes énergétiques, et les modèles acoustiques, hydrauliques et atmosphériques, relative en particulier dans ce dernier cas, au comportement des particules en suspension et des gaz (monoxyde de carbone et oxyde de soufre notamment). Se rattachent aux modèles atmosphériques, les mieux identifiés à ce jour car probablement les plus nombreux, les travaux à caractère météorologiques, et tout spécialement ceux conduits dans le cadre des études sur les gaz à effets de serre, dont l'acuité du problème a joué un rôle considérable sur le développement des modèles.

A priori, les deux courants sont aujourd'hui de plus en plus étroitement mêlés. On peut identifier le croisement de ces modèles « environnementaux » avec les questions relatives aux transports comme suit :

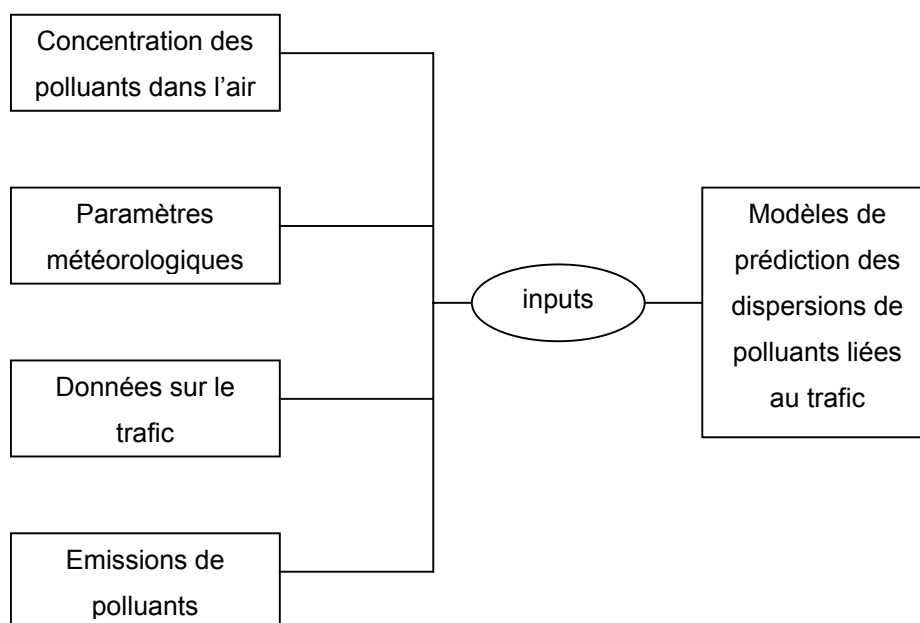
- Modèles appliqués aux rues en milieu urbain (*canyon street*), et les émissions afférentes : trafic, constructions, activité économique...
- Modèles appliqués aux tunnels
- Modèles appliqués à la circulation routière (*road side*)

Cela étant, les chercheurs spécialisés sur les questions environnementales, disposent de leurs plate formes de valorisations des travaux de modélisation qui ne sont pas focalisées sur les déplacements. Outre les nombreux colloques, mentionnons ici quatre revues scientifiques régulièrement citées :

- International Journal of Environment and Pollution,
- Atmospheric Environment
- The Science of the Total Environment
- Environmental Monitoring and Assessment

...

De manière classique, les modèles de trafic doivent aider à la réalisation de modèles « environnementaux », en particulier atmosphériques, comme le montre la description de la séquence suivante réalisée à partir de l'évaluation par R. S. Sokhi de trois modèles atmosphériques à partir de *Saturn* (Sokhi et alii, 1998).



Une question est bien entendu de se faire une idée un peu plus concrète des croisements entre dynamiques de recherche sur les transports et sur l'environnement. Il semble aujourd'hui que le phénomène soit suffisamment ancien pour que l'on puisse réellement parler de « tendances fusionnelles » et non simplement de complémentarité. Mais la question demeure de savoir si l'on est en présence d'un champ de recherche spécifique finalement assez isolé des autres domaines de la modélisation des transports, ou si on se trouve vraiment en présence de dynamiques porteuses de nouveaux paradigmes en mesure de s'imposer dans ces domaines.

Même si les investigations se sont largement concentrées sur les pays anglo-saxons, et dans une moindre mesure germaniques, on note une très forte représentation des universités et centres de

recherche anglo-saxons concernant le type de modélisation qui nous intéresse. Les trajectoires sont peut être, hypothèse à vérifier, différentes à l'origine. Le Royaume-Uni par exemple hérite d'une très solide tradition de modélisation des déplacements en milieu urbain et interurbain et, manifestement, les grands instituts de recherche sur les transports sont très présents à la confluence de la modélisation transport / environnement (ITS de Leeds, Imperial College, Napier University...). Aux USA, la modélisation atmosphérique paraît suivre un cheminement plus autonome, et l'on sait par ailleurs que le pays n'est plus le pôle d'excellence en modélisation des transports qu'il a été dans les années 50 et 60 (en dehors des modèles autoroutiers suscités par la Highway National Agency). Il est également très intéressant d'observer les liens tissés avec certains centres de recherche de pays émergents et en développement, comme l'Université de New Delhi ou encore l'Université du Caire à travers des chercheurs comme Wafaa Saleh (Napier University) ou encore A K Namdeo (NEERI, Jabalpur, Inde). Les chercheurs chinois ou d'origine chinoise, sont visiblement très présents dans les contributions scientifiques émanant de laboratoires anglo-saxons, et il semble d'ailleurs que la jeune recherche chinoise en transport s'intéresse d'assez près à la modélisation intégrant les dimensions environnementales [gardons à l'esprit les origines vénézuéliennes du modèle *Tranus*, ou la formation chilienne du grand modélisateur établi en Grande Bretagne et père de *Medplan*, M. Enchenique]. Il n'est pas du tout exclu que l'on s'aperçoive chemin faisant de l'importance de ce nouveau champ de recherche pour les spécialistes des transports des pays du tiers monde, où l'on sait que les problèmes de congestion et les dynamiques de motorisation conduisent à des situations environnementales et sanitaires très préoccupantes. Il est non moins prévisible cependant que l'on y observe des carences très handicapantes en données.

Les recherches sur Internet ont également permis de mettre en évidence l'étroitesse fréquente des liens entre organismes de recherche et bureaux d'études (Cambridge Environmental Research Consultants, Trinity Consultants [USA, CALINE 4], Atkins, Rand Corporation [coordination projet européenne SUMMA sur la mobilité durable] ou encore ISIS Italie). Ce lien, que nos précédents travaux n'ont cessé de souligner l'importance dans les processus d'innovation, se confirme donc dans le cas précis de l'interaction transports environnement. Manifestement, il s'agit parfois de collaborations autour de l'articulation entre approches environnementales et des modèles de transport intégrés à des logiciels eux-mêmes commercialisés par des bureaux d'études (comme *Saturn* l'est par le TRL).

6. Les modèles identifiés

Il est intéressant de noter qu'à l'interrogation « transport modelling », les moteurs de recherche répondent souvent par des indications concernant des travaux relatifs à l'hydrologie, à la chimie ou encore à la physique. Il s'ensuit un constat tout à fait général mais néanmoins riche d'enseignement : la modélisation des transports est loin d'être un sujet « en vogue », au moins sur le Net, si l'on en juge par les systèmes de référencement. Ce que l'on savait déjà de la France vaut donc, a priori, pour l'étranger. Les travaux conduits par les laboratoires étrangers peuvent être classés en six catégories :

- Les modèles atmosphériques s'intéressant de manière privilégiée à l'émission des matières polluantes, et à des phénomènes tels que la dispersion ou la concentration des gaz (essentiellement CO et NOX) et des PM 10. Ils sont développés par des départements d'environnement des universités.
- Les modèles plus spécifiquement orientés vers la consommation de carburant par les véhicules en liaison avec les surfaces et les variations météorologiques.
- Les modèles d'émission acoustique de véhicules et de trafic. A ce jour cependant, nos investigations sur ce thème restent très incomplètes.
- Les tentatives de croisement des approches précédentes avec des analyses de la demande de transport à partir de logiciels classiques, comme *Emme 2* ou encore *Saturn*.
- Des approches « originales » interpellant les champs qui nous intéressent sans relever des filières traditionnelles des transports ou de l'ingénierie de l'environnement. A ce jour, une piste intéressante a été identifiée avec la cybernétique appliquée au couplage entre accidents liés aux transports et écologie (Glushkhov Institute of Cybernetics de Kiev).
- Enfin la modélisation interactive ne faisant pas spécifiquement de lien avec l'environnement mais susceptible de le faire à terme par le biais de la prise en compte de la dimension spatiale (modèles du type *Medplan* ou *Tranus*). Cela étant, les modèles croisant transports et aménagement ne font pas partie de notre cadre de recherche, mais il paraît intéressant de poser cette direction comme une hypothèse de travail pour la suite.

Le terme de modélisation lui-même soulève un certain nombre de difficultés, tant en France (Baye et alii, 2002) qu'à l'étranger. D'une part il est souvent difficile de distinguer concrètement le modèle du logiciel qui lui sert de support. Ensuite, il n'est pas forcément possible de singulariser « un » modèle, baptisé ou non, connu ou non en fonction de parutions dans les revues scientifiques. La plupart du temps, la modélisation est un processus, une manière de travailler ou un outil de raisonnement qui ne se traduit pas nécessairement par la production d'un « modèle ». Il peut s'agir par exemple d'un logiciel de prévision, comme *Trips*, ou d'un système d'aide à la décision, comme *Tresis*. Cette difficulté doit pouvoir être levée à l'issue de cette recherche. A ce stade toutefois, il importe de rester ouvert dans le recensement de laboratoires dont on découvrira probablement au fil de la recherche que la modélisation n'est finalement plus un moyen qu'un objectif.

A ce jour, on a identifié un certain nombre de modèles, dont les caractéristiques sont ici résumées.

Nom du modèle	Organisme d'origine	Caractéristique générale
ADMS-Urban	Royaume-Uni, Cambridge Environmental Research Consultants	Modèle atmosphérique de prédiction des dispersions de polluants à partir de sources multiples, notamment le trafic
CAL3QHC	Etats-Unis, US Environment Protection Agency	Mesure des concentrations des polluants en fonction des distances et des conditions météorologiques
CALINE (1 à 4)	Etats-Unis, Californian Department of Transport et Federal Highway Agency	Modèle de prédiction des dispersions de polluants liés au trafic
CAR	Pays-Bas, TNO	Modèle de prévision de la pollution par le trafic adossé aux modèles de trafic du TNO
CARII	Royaume-Uni (?)	
GRAM	Etats-Unis, NASA, George Marshall Space Flight Center (USA)	Modèle atmosphérique de prédiction des dispersions de polluants liés au trafic
IMAGINE	Belgique, Université Catholique de Leuven, Transport and Mobility,	Modèle d'analyse des nuisances sonores (aériens, mais extension au trafic routier)
MISCAM	Allemagne, Institute for Atmospheric Physics, University of Mainz (J. Eichorn)	Modèle de dispersion des polluants
OSPM	Danemark, Environmental Research Institute, Department of Atmospheric Environment	Operational Street Pollution Model, modèle appliquée à la pollution des rues
PAL (Point Area and Line)	Etats-Unis, US Environment Protection Agency	Modèle d'émission plus spécifiquement applicable aux petits espaces (parkings, aéroports, réduits urbains)
PEARL	Royaume-Uni (Luhana L and Sokhi R S)	Modèle de qualité de l'air en milieu urbain et régional (impacts du trafic)
SBLINE	Royaume-Uni, University of Leeds, School of Geography, (Namdeo A.K. Colls J J). 1996	A déterminer
TEMMS	Royaume-Uni, Environment Center, Univ. of Leeds, (Namdeo A.K., Mitchell G., Dixon R.). 2002.	Modélisation et cartographie des émissions de polluants par le trafic

TRAEMS – Transport Planning Add-on Environmental Modelling System	Australie, School of Environmental Planning, Griffith University, Affum J. Brown L., Chan A.)	Système de modèles visant à mesurer les impacts environnementaux de la pollution de l'air, du bruit et de l'énergie consommée.
TREMOVE I & II	Belgique, Université Catholique de Leuven (B. Van Herbruggen). Première version en 1997-1998, seconde en 2003.	Modèle d'émission des polluants par le trafic.
TRESIS	Australie, University of New South Wales (Faculty of Economics and Business)	Système d'aide à la décision prédiction des effets des stratégies de transport sur l'environnement
U PLAN	Etats-Unis, Université de Californie Davis (Département des Sciences et de la Politique de l'Environnement)	Modèle « versatile » de croissance urbaine pour la planification des transports

7. Rappel des étapes de la recherche

A la suite d'une première investigation sur Internet, en recourant à des mots-clés (modelling, transport modelling, environmental modelling etc.), et recherche élargie à l'international, nous avons consulté quelques chercheurs et experts français en modélisation. En effet, il s'agissait de faire valider quelques points concernant l'identification de laboratoires étrangers reconnus sur la modélisation Transport/Environnement, la teneur du guide d'entretien et les collaborations franco-étrangères à ce jour engagées. Aussi avons-nous consulté des chercheurs du Laboratoire LTE (Laboratoire Transport Environnement) de l'INRETS de Bron¹¹, à savoir Charlotte Hugrel, Henri Jamet (acoustique), Jacques Lambert (axe Sciences Humaines et Sociales), Robert Joumart (axe pollution atmosphérique), et Marc Gaudry (professeur invité à l'INRETS de Paris, professeur à l'université de Montréal). Nous avons entrepris alors un recensement des laboratoires de recherche sur les quatre pays cibles prévus pour une investigation approfondie et sur place en matière de recherche modélisation transport/environnement selon les trois étapes suivantes :

1) **Une analyse des configurations socio-institutionnelles** qui, à l'étranger, président au développement d'une modélisation des déplacements qui prenne en compte les préoccupations environnementales. On se focalisera notamment sur quatre pays : le Canada, le Japon, l'Allemagne, l'Angleterre. Au travers l'identification des programmes publics de recherche sur les transports, des relations entre les autorités en charge de la promotion de la modélisation et les agences ou ministères spécifiquement chargés de la protection de l'environnement, en particulier de la lutte contre les pollutions atmosphériques, ou au travers les milieux de la recherche concernés par la modélisation, il s'agit de s'enquérir des modalités de coopérations entre équipes d'horizons disciplinaires différents pour l'élaboration et le développement de modèles interactifs transport-environnement.

En rappelant le contexte de la recherche, il s'avère indispensable de procéder au repérage de la place et du rôle des bureaux d'études, maillons intermédiaires essentiels entre recherche amont et utilisation des modèles (Baye, Debizet, 2000), dans le processus de développement appliqué d'outils croisant transports et environnement. Ils sont en effet mis à contribution de manière très différenciée, dans l'émergence de méthodes pédagogiques visant à en susciter l'intérêt et à en faciliter l'utilisation par les autorités publiques.

Parallèlement, on s'est intéressé de manière spécifique à quatre pays qui seront l'objet d'investigations de terrain, et l'objet de monographies : le Royaume-Uni, l'Allemagne, le Japon et le Canada. Le choix de ces pays est motivé par plusieurs raisons.

- Ils accordent tous quatre une place importante à la modélisation dans les processus de planification des transports, et ont fortement mobilisé leurs capacités de recherche scientifique dans le domaine de la protection de l'environnement.

¹¹ INRETS : Institut National de la Recherche sur les Transports et la Sécurité.

- Ils représentent des configurations scientifico-institutionnelles relativement différentes : mises côte à côte, elles permettent de tirer des enseignements utiles quant aux conditions appropriées au développement d'une modélisation interactive déplacements / environnement.

- Le Royaume-Uni, le Japon et l'Allemagne, ont déjà fait l'objet de nos investigations touchant les secteurs de la production scientifique et de l'innovation dans la planification et l'ingénierie des transports (Baye, 2002 ; Baye, Debizet, 2001, Baye 1995 et 1997...). Dans le cadre – limité – du présent projet, il paraît essentiel de privilégier des pays dont les contextes institutionnels, industriels et scientifiques en matière de transport sont déjà connus afin de pouvoir se concentrer rapidement sur le cœur de problème. L'argument vaut en outre pour l'accès aux contacts nécessaires dans les différents milieux.

- Le Canada abrite des unités de recherche qui entretiennent des relations suivies avec plusieurs équipes françaises, relations susceptibles de se développer dans une perspective croisée transport / environnement.(Centre de Recherche sur les Transports, CRT de Montréal; Université de Laval; Institut Polytechnique de Montréal). En outre, la connaissance des savoir-faire développés au Canada représente parfois un accès indirect à ceux développés aux USA, en particulier en Nouvelle Angleterre (MIT).

2) La **consultation des laboratoires de recherche, des représentants d'institutions publiques** (ministères, collectivités locales) ainsi que des cabinets d'étude sur les 4 pays visés par la recherche, ont permis de constituer des monographies parfois denses sur les travaux en cours et sur les outils de modélisation élaborés, développés et utilisés. Sur la base d'un guide d'entretien, les directeurs et chercheurs de laboratoires universitaires, d'organismes privés de recherche (instituts, cabinets d'étude) ou de collectivités locales, ont été consultés pour un état des lieux de la recherche et du développement en modélisation. Ces rapports de mission, présentés successivement sous forme de monographies dans le présent rapport, ont permis au LET de repérer les algorithmes, logiciels et modèles cités.

3) A partir de la collecte des informations sur les modèles identifiés au préalable, le LET a engagé une **revue des modèles** puis la construction d'un fichier descriptif de chacun de ces modèles (une quarantaine). Sur la base d'un guide méthodologique, le LET a établi une typologie des modèles T&E, passant ainsi au tamis ceux ne relevant pas directement de l'intégration explicite d'une modélisation Transport/Environnement. L'objectif de ce chapitre est de mettre en perspective les uns par rapport aux autres les différents modèles recueillis lors de la phase d'investigation sur le terrain étranger. Ce chapitre propose donc de revenir sur les méthodes, de mettre à jour les manières de représenter les liens entre transport et environnement dans les modèles et de les présenter de façon ordonnée. La complexité des dynamiques à l'œuvre à l'interface entre transport et environnement est éclairée et ordonnée au travers le cadre d'analyse DPSEEA¹² développé par l'OMS et sous une autre forme (DPSIR¹³) par l'OCDE puis l'Agence Européenne de l'Environnement pour décrire l'interrelation entre la société et son environnement. Sont ainsi distinguées des *forces directrices (tendances*

¹² DPSEEA (Driving forces-Pressures-State-Exposure-Effect-Action), en français FPPEEA (Forces directrices, Pressions, Etats, Exposition, Effet, Action).

démographiques, évolutions sociales et économiques des modes de vie, développement scientifique et technique, l'organisation logistique de la production et de la consommation etc), les *pressions* exercées sur les ressources humaines et l'environnement naturel et construit (taille des parcs de véhicules, distances parcourues, émissions de gaz à effet de serre (GES) et de polluants, de nuisances sonores etc), des changements dans *l'état* des ressources naturelles (consommation d'espaces pour l'urbanisation et les infrastructures de transport etc), les *impacts* pour les sociétés humaines et leur environnement qui se décomposent en *exposition* (par exemple des populations au bruit, à la pollution atmosphérique) et *effet* résultant de cette exposition (mortalité et maladies humaines, perte de biodiversité, destruction d'espaces naturels, changement climatique global, dégradations locales des aménités environnementales etc). Cette représentation causale très simplifiée des dynamiques complexes observées dans les usages des transports en interaction avec l'environnement est propice à un exercice de clarification et d'illustration des choix politiques effectués dans ces deux domaines a priori non intégrés.

¹³ DPSIR (*Drivers-Pressure-State-Impact-Response*), en français FPEIR (Forces directrices, Pressions, Etats, Impacts, Réponses)

8 - La recherche dans les domaines modélisation transport / environnement au CANADA



Cyrille Harpet (Economie & Humanisme)

Octobre 2004

I. Introduction

Dans le cadre de l'enquête relative aux travaux de recherche en matière de modélisation des impacts environnementaux liés au transport routier, la première mission a été conduite au Canada (Québec et Ottawa) durant le mois de septembre 2004. Une phase préliminaire d'investigation sur Internet a permis d'identifier des programmes de recherche, des réseaux de chercheurs et des laboratoires universitaires, des administrations publiques (ministères, agences sous-tutelle ministérielle), des acteurs et experts dans le domaine de la modélisation. Nous dressons dans un premier temps un bref inventaire de ceux identifiés, puis nous entrerons de plain-pied dans la recherche modélisation développée actuellement par une dizaine de laboratoires de recherche.

1. Programmes de recherche Transport / Environnement

Des programmes de recherche et d'études recensés après consultation de sites Internet sont à l'initiative des Ministères Fédéraux (Environnement, Transport, Infrastructures), provinciaux voire communaux ou intercommunaux (Fonds Municipaux Verts, GMF, Green Municipal Funds).

La modélisation couplant Transport et Environnement n'apparaît pas explicitement au travers de ces programmes mais plusieurs projets financés ont trait à la modélisation en matière de planification des transports urbains. On observe des programmes axés sur le développement d'alternatives de transport routier et sur des projets de démonstration de nouveaux modes de transport. Nous en citons ici quelques uns parmi les plus pertinents relativement à la problématique Transport/Environnement.

1) Strategic Highway Infrastructure Program (SHIP) (Transports Canada)

Intérêt : élevé

Adresse : <http://www.tc.gc.ca/ship/menu.htm>

Budget : 600 m\$ sur 4 ans (principalement des infrastructures)

\$5 millions sont attribués pour les études de recherche académique et pour la recherche appliquée concernant les projets en matière de transport (planification et modèle d'intégration en aires urbaines et le long des corridors de transport routier).

2) Calgary Spatial Activity Model Development

La ville de Calgary (<http://www.calgary.ca>) recevra \$250,000 pour développer une activité de modélisation spatiale des activités sur Calgary, en intégrant un système de modélisation représentant les aspects économiques, usages des sols (land use) et composantes en matière de transport sur la région de Calgary. Le système servira de support de prévisions et d'évaluation des politiques locales (<http://www.tc.gc.ca/mediaroom/releases/nat/2004/04-h061e.htm#bk>)

Le projet présente un document (format PDF) sur les modèles. Une seule référence à l'environnement apparaît dans les axes de recherche, avec prise en compte des émissions des véhicules.

3) Multi-Modal Travel Demand Modelling for Urban Policy Analysis

Le Ministère des Transports de la province de l'Ontario recevra une enveloppe budgétaire de \$240,000 pour développer les meilleures pratiques et un système de modélisation de la demande en transport pour l'analyse de la politique urbaine à l'échelle de la grande aire urbaine de Toronto. Le modèle servira pour la planification des investissements dans les infrastructures de transport, des initiatives de croissance intelligente et de réduction de la consommation d'énergie et des émissions des véhicules (<http://www.mto.gov.on.ca/english/>). Une étude menée par l'URS (Mike Delsey, URS Cole Sheman Consultant, P.Eng., Transportation Planning Manager, Reporting to Paul Hudspith ; Responsibility: plusieurs aspects de la modélisation et de l'analyse des impacts économiques)

4) Transportation Planning and Modal Integration Initiatives

Dans le cadre d'un appel à projets de recherche, 17 projets soumis auprès de Transport Canada ont été retenus sur les 58 déposés en mai 2004. Parmi ces projets, celui de l'université d'Alberta, Transportation Emissions Modelling for Better Choice, correspond en grande partie à l'objet de l'étude présente. L'université d'Alberta recevra \$49,450 pour mettre à niveau le modèle des émissions produites par les véhicules à l'échelle de la région d'Edmonton avec une estimation des émissions de gaz à effet de serre et des particules, pour les flottes actuelles et futures. Le modèle réactualisé sera utilisé pour l'évaluation des impacts relatives aux émissions sur la base des scénarios d'usage alternatif, des investissements et des politiques adoptés dans le cadre d'une prévision régionale des déplacements et de la micro-simulation du trafic. (Transport Canada's TPMI, site Web :www.tc.gc.ca/pol/en/highways/tp14219/menu.htm)

5) Programme de R&D du Centre de Développement des Transports (fédéral, sous le groupe Politiques de Transports Canada)

Intérêt : moyen

Adresse : <http://www.tc.gc.ca/cdt/menu.htm>

Financement : Transports Canada (fédéral), co-financements possibles par les partenaires de recherche, autres ministères fédéraux, acteurs privés, etc.

Objectif : Le programme touche la question des politiques, la réglementation et la sécurité, le développement technologique, les opérations et le transfert de technologies, en appui à la planification stratégique et à la prise de décision par le Ministère, le gouvernement fédéral et le secteur des transports du Canada. Thèmes abordés :

- Systèmes intelligents de transport
- Communication et navigation par satellite
- Les facteurs humains dans les transports, y compris l'ergonomie
- Protection de l'environnement
- Techniques de transport des voyageurs âgés et des handicapés
- Économie de carburants et carburants de substitution
- Méthode d'essais non destructifs
- Systèmes experts, machines neuronales
- Évaluation des risques
- Électronique embarquée : routière, maritime
- Matériaux de pointe

Dates : au moins depuis 1996.

Budget : ?

Partenariat : Groupes de recherche US, Mexique, Europe, Pacifique

Commentaires : Rien de précis sur la modélisation et peu sur l'environnement.

Quels que soient les domaines, la production des outils de modélisation trouve en grande partie son origine aux USA, situation explicable par la proximité géographique et culturelle, et les relations économiques étroites et constantes. Les relations engagées par les laboratoires canadiens avec les partenaires européens et en particulier français sont assez faibles, ou tout le moins réduits à des échanges interpersonnels ou très ponctuels, sans contractualisation particulière entre institutions. Nous devons admettre une relation institutionnelle engagée entre le CRT de Montréal (accords de coopération) avec des laboratoires français pour des co-directions de thèse (le LAMIH à Valenciennes, laboratoire d'informatique, d'automatisation industrielle et humaine ; le Laboratoire d'informatique à Avignon et le CNAM de Paris, Conservatoire National des Arts et Métiers de Paris). Le développement de programmes européens de recherche est apparemment dommageable aux partenariats franco-canadiens de recherche. Certes, la reconnaissance mutuelle des deux cultures est affirmée, mais elle ne s'exprime que de façon épisodique et sans incidence fondamentale sur les dynamiques de recherche.

2. Mission au Canada

Suite à ce premier inventaire des programmes de recherche, la mission effectuée au Canada, plus précisément sur Montréal, Québec puis Ottawa, a permis d'identifier et de conduire des entretiens avec douze chercheurs et six représentants des ministères canadiens.

Sur la base d'un questionnaire semi-directif, plusieurs éléments significatifs en matière de recherche en modélisation ont été extraits ici, mais aussi concernant le contexte institutionnel de la recherche et des développements en matière de modélisation intégrée. Certes la problématique la plus abordée dans l'ensemble est celle d'actualité concernant le changement climatique lié aux émissions de gaz à effet de serre relatives aux activités humaines, mais sans spécification sur le secteur d'activité. Le protocole de Kyoto, que le Canada a ratifié, a été l'élément déclencheur de la recherche, décidée politiquement et trouvant ses retombées directes dans la commande d'études spécifiques (cas des travaux du GERAD, de l'Institut des Sciences de l'Environnement de l'UQAM). Mais les Canadiens ont aussi pris le parti de développer une modélisation adaptée à la problématique de la congestion urbaine, et plus largement servant à la planification, sur la base d'enquêtes très précises et lourdes, portant sur l'inventaire détaillé des itinéraires « origine-destination » de façon systématique et régulière à l'échelle des principales villes canadiennes (cas du programme MADITUC, Ecole Polytechnique de Montréal, équipe de Robert Chapleau). Enfin, une recherche plus large est engagée en matière d'innovation et de transition, pour ne pas dire de mutation, en ce qui concerne l'expérimentation d'un système de déplacement rompant radicalement avec le système traditionnel connu et reposant sur l'industrie automobile et la production énergétique à base de produits pétroliers (cas des travaux de l'UQAM, STEPPE, équipe de Robert Hausler). Enfin, nous avons pu observer, parmi les interlocuteurs identifiés, sans prétendre à l'exhaustivité, une approche largement partagée en termes d'évaluation des coûts et bénéfices (monétaires et non monétaires, notamment sur les effets sanitaires et sociaux) relatifs soit à une orientation politique en matière de transport, soit en matière de choix technologique. Il s'agit entre autres de modéliser dans ce cas les prévisions sur les effets économiques (cas des travaux du GERAD, de la Chaire d'économie appliquée de l'UQAM). Il apparaîtra à l'évidence que la fourniture en outils de modélisation provient en grande partie des USA, du fait de la proximité géographique et culturelle et aussi de relations économiques étroites et constantes. Les relations engagées par les laboratoires canadiens avec les partenaires européens et en particulier français sont assez faibles, ou tout le moins réduits à des échanges interpersonnels ou très ponctuels, sans contractualisation particulière. La constitution de l'Europe et le développement de programmes européens de recherche tend à faire négliger les relations amorcées avec les partenaires canadiens. Pourtant, la reconnaissance mutuelle des deux cultures est affirmée, mais ne s'exprimant que de façon épisodique et discontinue.

Les équipes paraissent enfin partager des préoccupations d'évaluation des coûts et bénéfices liés aux projets de transports lato sensu, relatifs à une orientation politique en matière de transport, ou de choix technologique : impacts monétaires et non monétaires, notamment sur les effets sanitaires et sociaux,.... Il s'agit entre autres de développer des études portant sur la concurrence intermodale

entre divers modes de transport, de mesurer les effets de la réglementation Transport sur les activités de transport. Ces travaux peuvent consister notamment en l'évaluation économique des dispositifs de limitation des impacts sur l'environnement (cf recherches de la Chaire d'Institut d'économie appliquée de HEC à l'UQAM, [titulaire de la chaire : Robert Gagné]), ou en évaluation de l'efficacité des instruments économiques (taxes sur les émissions polluantes).

II. Le contexte de la recherche canadienne

L'état des lieux de la recherche au Canada établi ici intéresse les entités publiques et privées développant des activités de recherche en modélisation. On note qu'aucune des structures de recherche publique n'a pour objet principal la modélisation des impacts environnementaux relatifs au transport routier, en dehors du laboratoire de Génie civil de l'Université de Laval dans le cadre des études d'impacts commanditées par les autorités locales et promoteurs de projets d'aménagement (Ministères Transport des Provinces). Encore les activités de recherche de ce laboratoire représentent-elles, non pas sur la conception de modèles mais sur l'identification des modèles pertinents et adaptés aux besoins de l'évaluation. En général, la conception d'outils de modélisation est généralement axée sur l'aide à la décision (systèmes experts, réseaux neuronaux, modèles d'optimisation, de simulation), laquelle a permis au GERAD de devenir une référence internationale en la matière.

Huit laboratoires publics ont été consultés à Montréal et à Québec (voir encadré ci-après), dans des domaines de recherche assez distincts, allant des sciences de l'ingénieur (génie civil, mais aussi disciplines ou la culture d'ingénierie demeure très présente comme l'écologie, la planification et l'aménagement urbain) à l'ingénierie informatique, en passant par les mathématiques et les sciences économiques.

Pour les **institutions publiques**, nous nous sommes limité au niveau fédéral. Les responsables des différents ministères étant basés à Ottawa, leur consultation était rendue plus aisée.

Enfin, des **compagnies privées** (cabinets d'études et sociétés) ont été citées et identifiées par les interlocuteurs des laboratoires de recherche. Les cinq compagnies (dites Spin-Off) sont répertoriées sans avoir fait l'objet d'une consultation spécifique.

Organismes de recherche
- GERAD, Hautes Etudes Commerciales de Montréal (HEC) / Université de Montréal
- HEC Montréal, Institut d'Economie appliquée
- Ecole Polytechnique de Montréal (groupe MADITUC)
- Ecole des Technologies Supérieures / UQAM (STEPPE)
- Université de Montréal (RCM2)

<ul style="list-style-type: none"> - Université Laval à Québec (Faculté des sciences et de génie, Génie civil) - Université du Québec à Montréal (UQAM, GREIGE et GREFI) - Université de Toronto (TEP)
Ministères
<ul style="list-style-type: none"> - Environnement Canada (Ottawa), - Transport Canada (Ottawa) - Agence d'évaluation environnementale (Ottawa) - Infrastructures Canada (Ottawa) - Ressources Naturelles Canada (Ottawa)
Cabinets d'études privés, Spin-Off
<ul style="list-style-type: none"> - Informetrica Limited, Carl Sonnen, Ottawa (modèle Informetrica) - Société STRATUS Consulting Inc, Washington, USA (modèle AQVM) - Haloa (Spin-Off fondée par Richard Loulou du GERAD, modèle Markal) - Technologies AD-OPT (Spin-Off fondée par le GERAD) - INRO (Spin-Off fondée par Michel Florian), commercialisant EMME 2.

Cette première recension des entités n'a pas prétention à l'exhaustivité (domaines non couverts : modélisation du bruit, de la sécurité des infrastructures et des véhicules, du transport des matières dangereuses), ce qui n'exclut pas l'existence d'acteurs de la recherche portés sur ces champs. Mais les organismes rencontrés sont parmi les plus en vue au Canada, et donc incontournables dans l'expertise et les références affichées.

Des liens très nets sont observables entre les Spin-Off et les laboratoires de recherche publique et universités. Ceci s'explique par la création quasi systématique de société et cabinets d'étude à l'initiative des chercheurs et enseignants. Il nous a été rapporté précisément que cette démarche est devenue désormais courante, rompant avec un tabou longtemps persistant. On observe ce phénomène dans plusieurs pays, depuis longtemps notamment en Allemagne, voire aux Etats-Unis.

Les liens entre établissements publics de la recherche et les Ministères en charge des dossiers « Environnement » et/ou « Transport » sont quant à eux plus diffus : il s'agit soit d'une commande explicite d'une étude (appels d'offres ou commandites) par l'administration, soit d'une recherche propre au laboratoire inspirée de travaux étrangers. A cet égard, les échanges inter universitaires avec les Etats-Unis en priorité, le Royaume-Uni, l'Allemagne et la France portent sur la fourniture de bases de données ou sur la fourniture d'outils de modélisation existants.

III. Pratiques de la modélisation dans les laboratoires universitaires

1) trois grandes démarches de modélisation

Les pratiques de modélisation se répartissent en trois grandes démarches : **i)** conception des outils (algorithmes, logiciels, modèles, systèmes expert,...), **ii)** application des outils existants avec apport ou non d'une innovation (comparaison de modèles, confrontation des modèles pour un même objet d'étude), qui correspond à une recherche opérationnelle (GERAD), **iii)** enseignement et diffusion des savoirs et compétences (Université de Laval, Faculté des Sciences et de Génie, département de génie civil).

i) Pour la partie proprement conceptuelle des modèles, nous rencontrons plutôt des individualités, à savoir des chercheurs et non pas de laboratoires spécifiques. Changhui Peng (UQAM) a conçu le modèle TRIPLEX en 2001 pour l'analyse des échanges et cycles du CO₂ dans les compartiments sols/air, se référant aux banques de données américaines (OAK Ridge National Laboratory, ORNL). Les émissions globales de CO₂ suivies sont soit d'origine forestière soit d'origine humaine (agriculture, industrie, transport). Les émissions relatives aux transports ne sont pas prises en compte de manière spécifique mais intégrées dans les émissions globales. Dans le cadre d'un partenariat avec l'université Lakhead en Ontario, Peng a pu concevoir ce modèle remplaçant les modèles FORSKA, CENTURY et OBM en usage courant au sein de l'UQAM. TRIPLEX reste disponible dans le domaine public et aucune perspective de commercialisation n'est envisagée. Il semble que les travaux relevant des sciences de l'environnement en général ne font pas l'objet d'une demande commerciale à ce jour. Certes, la diffusion est assurée via le site de l'université (version disponible et téléchargeable), par des publications scientifiques et à l'occasion de congrès, mais sans démarche proprement commerciale. Ensuite, le modèle TRIPLEX se présente comme un modèle spécifique d'analyse des processus dynamiques d'échanges des systèmes forestiers, reposant sur des données climatiques, pédologiques et forestières. Pour adapter ce modèle à la problématique purement « émission de CO₂ » par les transports, il s'agirait de simplifier le mécanisme de fonctionnement de ce modèle en prenant en compte seulement des input/output sans entrer dans la complexité des mécanismes de la formation du CO₂.

De son côté, Richard Loulou (HEC/GERAD) a conçu la version 7 du modèle MARKAL au sein de la société privée qu'il a créée (HALOA). Mais, échange de bons procédés, le développement de MARKAL dans ses versions améliorées profite au GERAD et contribue à sa notoriété. Ce modèle d'optimisation, développé à l'origine par l'ETSAP (Energy Technology Systems Analysis Programme, programme, établi dès 1976 par l'International Energy Agency, consortium d'une vingtaine de pays membres) permet de comparer et de mettre en compétition des technologies en fonction d'une finalité prédéfinie (comme celle par exemple d'une réduction des émissions de CO₂ dans l'atmosphère).

ii) Pour la partie application et recherche opérationnelle, nous rencontrons la majorité des structures identifiées. Parmi elles, le GERAD de Montréal, constitué il y a 25 ans, lequel regroupe des chercheurs issus de multiples disciplines (mathématique, informatique, génie des procédés, génie énergétique etc) et de divers établissements universitaires (50 professeurs rattachés, de HEC, Ecole Polytechnique, Université Mc Gill). La répartition des chercheurs repose sur les objets d'étude et sur des vecteurs de recherche (énergie et environnement, optimisation et gestion des ressources, théorie des jeux, optimisation des réseaux, applications en télécommunications). Le GERAD est subventionné par des organismes publics et privés et répond à des appels d'offres, mobilisant les enseignants - chercheurs pour la durée du contrat. Le GERAD se distingue de la multitude des laboratoires canadiens par sa taille (50 chercheurs, 200 étudiants par an, inscrits en fonction de programmes d'études relevant des institutions qui parrainent le GERAD ([HEC Montréal](#), [l'École Polytechnique](#), [l'Université McGill](#) et [l'Université du Québec à Montréal](#)). Des chercheurs sont chargés du développement commercial au sein de la Spin off créée spécifiquement et désormais cotée en bourse).

iii) Pour la partie enseignement et diffusion, le constat rend compte d'une faiblesse dans la transmission formalisée et institutionnalisée. L'enseignement le plus abouti et le plus complet en modélisation (pour l'utilisation des modèles) reste celui de la Faculté des sciences du génie de l'université de Laval, département génie civil (Galvez-Cloutier, approche multicritères et études d'impacts). Cet enseignement représente en effet 90 heures assurées au niveau baccalauréat, équivalent de la licence en France, cours obligatoires pour les étudiants du Génie civil et optionnel pour les autres départements. Une partie des cours porte sur la théorie et sur les outils mathématiques servant la modélisation (modèle SAADY), l'autre portant sur des cas d'études et d'application. Les enseignements sont mis en ligne sur le site Web (www.gci.ulaval.ca), ce qui dénote un fort potentiel de diffusion.

La pratique de modélisation de l'équipe du MADITUC trouve une place à part : il s'agit d'un outil qui se distingue par la continuité de l'usage qui en est fait (institutionnalisé et exploité depuis 25 ans), par la systématisme de production des données quantitatives et qualitatives fournies (enquêtes ménages tous les 5 ans), par la référence qu'il constitue (une base de données inégalée), par la spécificité de la méthode, la précision progressive des données (1500 variables) et la finesse des analyses qu'il offre au fil des ans. En effet, à la demande de chaque province canadienne, l'exploitation des données issues des enquêtes ménages Origine Destination qui portent sur 5% de l'ensemble des ménages sur les grandes agglomérations canadiennes tous les 5 ans à Montréal, a permis de développer un outil d'analyse très pointu et performant et servant à la planification des transports urbains. Le logiciel MADITUC a fait l'objet, rappelons-le ici, d'une étude spécifique du LET en France (Patrick Bonnel et Jean-Pierre Nicolas) dès 1993, avant de devenir un modèle à part entière d'analyse désagrégée des comportements de déplacements tous modes. Aujourd'hui, l'approche est totalement désagrégée, microscopique sur les déplacements des personnes et sur la base des Origines/Destination des usagers. On peut alors examiner l'accès au territoire et procéder par péréquation à l'accès aux autres

territoires. Autrement dit on parvient à mesurer l'effet redistributif des usagers des transports et donc de l'usage des infrastructures de transport sur le territoire d'une agglomération. Lorsqu'une segmentation des territoires est effectuée, selon des frontières administratives à l'échelle des collectivités, on peut mesurer déplacement par déplacement l'usage qui est fait des transports (tous modes), mesurer la consommation respective des transports collectifs et donc des réseaux d'infrastructures par les personnes à l'aide de 1500 variables (origine, destination, genre, âge, mode de déplacement, itinéraires suivis etc). Enfin, un exercice de simulation dynamique des mouvements sur le réseau urbain dans le temps (sur 18 heures successives) est rendu possible par géocodage et référencement dans un SIG (cartographie exprimant la densité de population en déplacement par zone, par journée, par heure dans le cadre d'une journée de semaine type entre septembre et décembre). Si ce modèle ne sert pas spécifiquement à l'évaluation des impacts environnementaux relatifs au transport, il offre l'opportunité de s'appuyer sur une base de données très riche en informations exhaustives sur les itinéraires de déplacement au jour le jour, voire heure par heure. Et dans la mesure où des préoccupations environnementales apparaissent dans le cadre de la stratégie nationale de développement durable ainsi qu'au niveau des provinces (cas de l'Agence Métropolitaine de Transports de Montréal, AMT) avec une politique des transports durables, cet outil pourrait à terme servir à exploiter les données présentes en vue d'optimiser les réseaux de transport et de faire évoluer l'outil avec la prise en compte des aspects environnementaux.

La pratique de modélisation servant pour les évaluations des effets et impacts implique déjà plus de protagonistes, mais sur des volets très différenciés : les impacts sont évalués soit en termes de coûts-bénéfices économiques (laboratoire du GERAD), sanitaires (études produites par les Ministères de la Santé et de l'Environnement), environnementaux (UQAM, GREIGE), sociaux (Génie civil, Université de Laval). Aussi faut-il préciser que les impacts évalués ne sont pas directement liés au transport routier spécifiquement : par exemple, la modélisation des consommations d'énergie, d'émissions des polluants s'étend à l'ensemble des activités humaines, tous secteurs confondus ou classés. Le modèle Énergie 2020 est un système d'analyse multisectoriel qui simule le prix, l'offre et la demande de tous les combustibles sur le marché de l'énergie. Le modèle Infrometrica (TIM) examine les décisions en matière de consommation, d'investissement, de production et de commerce dans l'ensemble de l'économie. Les services d'Environnement Canada (Ministère fédéral) n'ont pas de tâche spécifiquement liée à l'activité du transport, et ne produisent pas de modélisation liée au transport. C'est au niveau de l'OCDE que sont recensées les recherches les plus importantes sur l'évaluation des impacts Environnement liés au Transport. L'OCDE regroupe une masse d'informations en provenance de tous les pays adhérents et ces données servent à la modélisation. Dans le cadre du Environmental Valuation Reference InventoryTM, (EVRI), les Ministères des différents pays entrent en contact avec l'OCDE pour échanger sur ces données. L'Office centralise toutes les bases de données et produit un travail important sur la modélisation.

Au niveau ministériel fédéral (Transport Canada), le secteur des Transports est approché soit à partir de l'évaluation des ressources énergétiques disponibles (l'offre et de la demande) pour établir des

prévisions économétriques, soit à partir des impacts sur l'effet de serre. En réponse au premier cas, le modèle économétrique utilisé est l'IFSD (Inter Fuel Substitution Demand), modèle peu désagrégé qui repose sur la base de données de l'offre de production énergétique très détaillée (pétrole, gaz, eau) et permet de prévoir la demande pour tous les secteurs des transports (passagers et marchandises, urbain et interurbain) mais pas au-delà de l'an 2000 (base de données de 1999). Le lien macro-économique est réalisé à partir d'INFORMETRICA pour la projection macro-économique. L'achat d'un modèle américain a été indispensable pour poursuivre ces travaux, le modèle américain NEMS (National Energy Modelling System). Ce modèle intégré comprend le secteur du transport. La version canadienne développée est appelée MAPLE-C (feuille d'érable), mis à jour actuellement pour le rendre opérationnel. Ce modèle reste toutefois très complexe et très détaillé, appliqué sous langage Fortran. Avec ce modèle, il est question d'ébaucher une projection à paraître en décembre 2004.

Le Ministère Ressources Naturelles Canada cherche à améliorer sa capacité d'analyse grâce à l'adaptation du U.S. National Energy Modelling System (NEMS) (*Système national de modélisation de l'énergie des États-Unis*) pour le Canada, qui devrait s'achever. Le nouveau modèle (Maple C)¹⁴ sera utilisé pour les prévisions subséquentes portant sur l'énergie et les émissions et fournira un cadre de travail intégré pour l'analyse des politiques (sur la base du parc de véhicules légers existants, sans tenir compte des TC ni des transports de marchandises). La part des émissions de gaz à effet de serre sera évaluée en comparaison des consommations d'énergie et de l'offre énergétique. L'objectif visé est de contribuer à l'évaluation d'un programme de taxe ou de redevance Transport.

Pour la modélisation des phénomènes de pollution, l'usage du modèle MOBILE 6 (conçu par les Américains, et notamment utilisé par l'US-EPA) est courant, suite au rachat de ce modèle et développement d'une version canadienne par Environnement Canada. Transport Canada ne l'utilise pas. L'initiation à la modélisation de la pollution à Transport Canada se faisant à partir de MAPLE 6. Le calcul s'effectue sur la base de la taille du parc de véhicules, des vitesses des véhicules, des conditions climatiques.

La partie Evaluation Environnementale de Transport Canada est l'objet des travaux du département Recherche et Développement. Cette partie prend en compte les émissions des gaz à effet de serre, mais aussi les émissions de polluants atmosphériques et les usages des territoires pour le cas des transports routiers. Tout ceci est réalisé relativement aux différentes politiques en matière de transports et notamment à l'aide de l'outil ACCESS 2000. Cet outil est disponible au sein de Transport Canada pour évaluer un ordre de grandeur des effets environnementaux. Cette approche nationale permet aux services de Transport Canada de recourir à un même outil d'évaluation. La question demeure de savoir si les services concernés travaillent en régie ou en s'appuyant sur les universitaires, voire sur des bureaux d'études en spin-off.

La prise de mesures des impacts environnementaux dans les démarches de planification et d'aménagement est désormais rendue obligatoire par tous les ministères. Cette démarche très explicite de mesure des impacts est telle que cela a conduit à modifier des modèles et plans d'aménagement pour permettre la production de calculs des impacts environnementaux. Ainsi par exemple, dans le cadre des activités d'entretien des voiries en période hivernal, des impacts environnementaux liés au recours à des « fondants », a fait l'objet d'une mesure réglementaire. Environnement Canada a décrété que le sel est un produit nuisible pour l'environnement. La contamination des eaux et des sols par les sels (pour faire fondre la neige) était telle qu'une recherche opérationnelle a été menée par le CRT sur l'usage des fondants et abrasifs (sels et sables). Le premier argument avancé était celui d'une réduction des coûts (approche économique) alors que le coût avoué est de nature environnementale. L'équipe du CRT ne procède pas à la mesure des impacts environnementaux, mais élabore un système expert ou des outils d'aide à la décision.

Les impacts environnementaux liés aux transports urbains font l'objet de demandes spécifiques émanant des ministères. Le CRT a été ainsi mandaté par le Ministère de l'Environnement pour la réalisation d'un logiciel de calcul d'impact. La demande s'appuyait sur le logiciel EMME 2 développé par le CRT il y a 25 ans. Dans les modèles de planification urbaine, intégrés dans un logiciel (cf Ministère des Transports), le CRT a eu en charge le développement de calculs d'impact environnemental afin d'améliorer l'outil de planification. Le logiciel est aujourd'hui commercialisé par une Spin-Off (INRO, Michel Florian, chercheur principal du CRT). Les impacts calculés sont ceux des émissions atmosphériques (mesure de CO₂, NO_x, poussières, avec 4 indicateurs). Pour améliorer la capacité d'analyse, le CRT a proposé le recours au modèle américain MOBILE dans sa version canadienne, plus précis et plus fin que EMME 2. MOBILE 6 ne repose pas sur une voiture moyenne mais sur la qualification des véhicules (marque, taille, âge...). A Environnement Canada, Brett Taylor (Emissions Inventory Information Analyst), rappelle que le modèle MOBILE 6.2 (de l'US-EPA) a été adapté en version canadienne sous l'intitulé MOBILE 6.2 C pour l'évaluation des émissions polluantes des véhicules routiers.

2) L'innovation

L'innovation en matière de modélisation ressort essentiellement des ponts établis entre eux de types de modèles : par exemple, entre un modèle empirique (servant la gestion et la planification des espaces, mais sans estimation des impacts environnementaux) et un modèle mécanique (permettant d'estimer des impacts relatifs au changement climatique), il est possible d'en voir la complémentarité. En effet, un modèle mécanique ne permettait pas auparavant de procéder à de la gestion et de la planification des espaces forestiers par exemple, comme le souligne Changhui Peng. Un modèle hybride comme TRIPLEX (version 1,5 de 2003) permet d'associer modèle empirique et mécanique. (modèles empiriques : Chapman-Richards, Weibull, Schmutte, Modified Logistic, Korf/Lundqvist; modèles mécaniques : CENTURY, OBM, FORCAST, TRIPLEX 1).

TRIPLEX est un modèle des dynamiques et des échanges des systèmes forestiers (sols, air). Ce n'est pas un modèle statistique. Il a été spécifiquement développé pour l'analyse des cycles et échanges de CO₂ (sols / air) et fonctionne à l'aide d'un mécanisme spécifique au système forestier. Il est possible de modifier le processus de TRIPLEX pour l'adapter à la problématique Transport (routier par exemple) en simplifiant le mécanisme de fonctionnement du modèle. Le phénomène de la photosynthèse, caractérisant les organismes (végétaux) étant particulièrement complexe et contribuant à l'explication des émissions / absorptions du CO₂, la modélisation est très spécifique et ne saurait être transférable aux émissions relatives à des véhicules. Un modèle Transport prendra en compte seulement des Inputs /outputs sans rentrer dans la complexité des processus de formation du CO₂ (cela devrait déboucher sur un modèle de type « TRIPLEX Transport »)

La même observation est faite par Maryse Labriet (GERAD, Montréal) mais repose sur un autre argumentaire : le recours à deux modèles dans le cadre d'une étude (novembre 2002, cabinet HALOA, GERAD et Université Fraser à Vancouver) sur les mesures à adopter en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre a permis de confronter deux méthodes différentes produisant des options. Les deux modèles sont différents dans leur structure : Le modèle MARKAL de HALOA (Richard Loulou) et le modèle de l'Université Fraser. L'exercice peut être reconduit avec le modèle de simulation CIMS et le modèle d'optimisation MARKAL. Les deux hypothèses de départ sont donc opposées : cette confrontation des deux modèles, construits sur deux hypothèses opposées, est un facteur de réalisme dans l'étude souligne la chercheuse du GERAD. Dans le cas d'un objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre, un modèle de simulation (CIMS) permet de représenter des comportements d'utilisateurs en tenant compte des résistances de comportement à un changement de mode de transport : en conséquence, les coûts de réduction des émissions de GES sont supérieurs aux coûts proposés par un modèle d'optimisation de type MARKAL. Du coup, avec un modèle d'optimisation, il s'agit d'un mode « prescriptif » qui table sur une vision d'un monde « idéal » où chaque utilisateur adopterait la meilleure technologie répondant aux objectifs fixés. Le recours au modèle de simulation, donc plus réaliste, permet d'intégrer des contraintes relevant des résistances à ce comportement. Dans le domaine des transports, cette confrontation entre deux modèles et leur complémentarité prend toute son importance dans l'exercice de modélisation, puisque ce sont les hypothèses de départ qui déterminent l'interprétation des résultats en fonction de l'objectif initial.

3) Les modèles identifiés

Les travaux conduits par les laboratoires canadiens peuvent être classés en quelques catégories, malgré l'exercice difficile de cette répartition du fait des croisements multiples :

- Les **modèles atmosphériques** et de d'évaluation de la contribution au changement climatique (gaz à effet de serre) s'intéressant de manière privilégiée à l'émission des matières polluantes, et à des phénomènes tels que la dispersion ou la concentration des gaz (essentiellement CO et NOX) et des PM 10. Ils sont développés par des départements d'environnement des universités. Pour l'analyse des cycles et échanges de CO₂, de NO₂, des modèles sont mis au point par des laboratoires publics (CENTURY, OBM, TRIPLEX), modèles n'ayant pas apparemment encore suscité d'intérêt commercial (cf. Changhui Peng, UQAM). Au Canada, ce sont surtout les scientifiques à l'emploi du gouvernement qui utilisent la modélisation climatique. Ils collaborent depuis plusieurs années avec leurs collègues des universités à divers réseaux et projets, partageant de l'information et travaillant à des recherches communes (Université du Québec, Institut National de la Recherche Scientifique; Université Mc Gill à Montréal, OURANOS, consortium sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques association les Ministères et les universités de Laval, Mc Gill à Montréal, l'université de Québec à Montréal). Au Canada, le point central des activités de modélisation climatique est le Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique d'Environnement Canada à Victoria, en Colombie-Britannique (Ccmac, Centre canadien de la modélisation et l'analyse climatique), est impliquée fortement dans la recherche au titre de la division de la Direction de la recherche climatique du [Service météorologique du Canada](#), [Environnement Canada](#)). L'équipe canadienne de modélisation climatique mondiale a développé l'un des modèles du système climatique les plus avancés qui soient. Ils exécutent ces modèles à des fins de politiques, analysent et publient les résultats et partagent les conclusions de la modélisation avec la communauté scientifique canadienne et internationale. Les chercheurs canadiens sont reconnus au sein de la communauté scientifique internationale. Le *U.S. National Assessment of the Potential Consequences of Climate Variability and Change* a récemment utilisé le modèle climatique mondial d'Environnement Canada, tout comme l'a fait le GIEC dans sa série de rapports d'évaluation. (www.ec.gc.ca/climate/CCAF-FACC/Science/fact/model_f.htm#2)
- Les modèles orientés vers **la consommation de carburant** par les véhicules en liaison avec les surfaces et les variations météorologiques.
- Les modèles **d'émission acoustique** de véhicules et de trafic. La Federal Highway Administration a développé un modèle de simulation (TNM, *Traffic Noise Model*), basé sur des mesures de niveaux sonores in situ. La faculté de Géographie de l'Université de Sherbrooke (<http://www.USherbrooke.ca/cartel>) comprend un projet de recherche mené par Lynda Bellalite (Professeure agrégée et vice-doyenne aux études supérieures et à la recherche). Une recherche

visent aussi l'analyse des relations entre l'aménagement et le transport (mise en place des zones à circulation automobile restreinte, dispositifs d'aménagement visant la réduction du trafic en milieu urbain, relation entre design urbain et propagation du bruit issu du trafic routier).

- Les tentatives de croisement des approches précédentes avec des **analyses de la demande** de transport à partir de logiciels classiques, comme *Emme 2* ou encore *Saturn*.
- Des **approches « originales »** interpellant les champs qui nous intéressent sans relever des filières traditionnelles des transports ou de l'ingénierie de l'environnement. Les travaux de l'équipe de Robert Hausler (UQAM, Ecole des Technologies Supérieures de Montréal), s'inscrivant dans le programme LARA relèvent de cette catégorie atypique : le système de transport est intégralement revu et remplacé au niveau des infrastructures (bandes électromagnétiques au sol, système dit de « la route automatisée », LARA), les engins automatisés véhiculant les passagers et la notion même de propriété est révisée puisqu'il s'agit d'un « Dual Mod », intermédiaire entre véhicule individuel et collectif.
- La modélisation interactive ne faisant pas spécifiquement de lien avec l'environnement mais susceptible de le faire à terme par le biais de la prise en compte de la **dimension spatiale** (modèles du type *Medplan* ou *Tranus*). Cela étant, les modèles croisant transports et aménagement ne font pas partie de notre cadre de recherche, mais il paraît intéressant de poser cette direction comme une hypothèse de travail pour la suite.
- Les **systèmes experts**, équivalents d'un « réseau de neurones », permettent de reproduire un jugement et de formuler des réponses d'experts à partir des compétences des acteurs du métier. C'est le cas de certains travaux du CRT (Montréal) produisant des outils d'aide à la décision dans la résolution de problèmes (cas du salage et de l'entretien des voiries et infrastructures).
- Les **modèles d'évaluation comparative** des impacts sur les territoires, impacts sociaux, économiques et environnementaux. Servant les études d'impact commanditées par l'Agence d'Évaluation Environnementale du Canada pour tout projet d'aménagement, ces modèles sont utilisés par des laboratoires publics ou privés. Le département de Génie Civil de l'Université de Laval s'en est fait une spécialité en matière de formation des ingénieurs et d'études pour les provinces. La modélisation fait suite à une identification puis une énumération des aspects significatifs, dans le cas d'un aménagement routier, pour donner lieu à une notation (affectation de quotas) et donc à une hiérarchisation. Cette grille des priorités est ensuite analysée à l'aide de modèles de comparaison des différentes options, modèles tels que HOLMES (qualitatif simple), SAATY (quantitatif complet, procédure d'analyse hiérarchique, méthode AHP, Analytic Hierarchy Process, 1971).

- La modélisation servant **la planification urbaine** en matière de déplacements, dans le cas du groupe MADITUC (Ecole Polytechnique de Montréal). Sur la base de données d'enquêtes habitants et décrivant de manière détaillée les itinéraires (matrices OD), la modélisation permet d'observer l'évolution des comportements des usagers des réseaux de transport et d'apporter des éléments d'expertise en termes d'aménagements et d'outil d'aide à la décision politique (répartition territoriale des taxes entre secteurs desservis).
- La modélisation au service de **l'optimisation et la gestion des ressources humaines** propres aux secteurs d'activités, dont le transport. La Spin off Technologies AD-OPT (constituée par les chercheurs du GERAD de Montréal) développe un système complet de gestion du personnel axé sur l'industrie de contrôle de la circulation (ShiftLOGic) et une suite de produits de planification, d'optimisation et de gestion des équipages conçue spécialement pour l'industrie aérienne (Altitude). Ensemble, ils forment les principaux outils de planification dans leurs secteurs respectifs, en établissant les horaires de milliers de pilotes, d'agents de bord et d'opérateurs de contrôle de la circulation aérienne dans le monde entier. Dans le même ordre d'idées, les modèles d'optimisation conçus par le CRT (Centre de Recherche sur les Transports, Montréal, établissement de recherche publique) sont destinés pour la gestion des tournées de véhicules, la gestion de flottes de véhicules (ambulances, cars scolaires, véhicules de livraison).

Le terme de modélisation lui-même soulève un certain nombre de difficultés, tant en France (Baye et alii, 2002) qu'à l'étranger. Il est fréquent de ne pas distinguer concrètement le modèle du logiciel qui lui sert de support. Ensuite, il n'est pas forcément possible de singulariser « un » modèle, parfois non baptisé. Si le modèle est baptisé, c'est souvent dans le cadre d'un développement ultérieur et de commercialisation (création d'une Spin-off ou compagnies de valorisation des produits de la recherche). Le nom de baptême d'un modèle ou d'un logiciel peut être nominatif du chercheur à l'origine des travaux (modèle SAATY, modèle de P.HOLMES).

4) Essai de typologie des modèles

Il a paru intéressant de restituer ici une analyse typologique des modèles telle qu'elle a pu être proposée par un chercheur canadien reconnu à l'échelle nationale, Michel Gendreau (CRT, Montréal). Nous pouvons d'emblée proposer une typologie provisoire, laquelle sera remaniée voire restructurée à l'initiative du Laboratoire d'Economie des Transports à l'issue de la collecte intégrale des modèles identifiés sur l'ensemble des pays ayant fait l'objet de notre investigation. Le rapport du LET comprend ainsi une typologie aboutie des modèles et systèmes de modélisation à l'interface des problématiques Transport / Environnement sur la base du répertoire des fiches descriptives des modèles identifiés au fil des missions.

Aussi nous distinguons un classement des modèles tels que :

- Les algorithmes de confection des tournées (localisation des clients, identification des clients, données a priori sur les sites à desservir)
- Les modèles d'optimisation et de gestion des flottes (courriers rapides, gestion des appels et des demandes, interventions d'urgence...)
- Les modèles de planification des transports urbains régionaux (transports en commun, transports privés, TC + TP)

Un modèle d'optimisation permet de gérer des flottes de véhicules en temps réel, en minimisant la distance parcourue et donc le temps de parcours, en réponse à une contrainte majeure dans les services de transports (transporteurs) pour assurer la ponctualité des livraisons. Les retards de livraison et de surcroît l'incertitude comme l'indique Robert Gagné (UQAM, chaire d'économie appliquée) sur les délais fixés pour assurer les livraisons contribuent à dissuader les clients de recourir aux trains ou au fret ferroviaire.

En second lieu, il s'agit de dissocier un système expert d'un modèle. Le système expert est "un réseau de neurones", ou plus précisément l'intègre, et consiste à reproduire les décisions d'un panel d'experts. Par exemple, un expert est en capacité d'identifier les variables pertinentes. Il y a donc une différence de fonctionnalité avec un modèle d'optimisation.

Enfin, Michel Gendreau rappelle une distinction entre modèles descriptifs et normatifs. Les modèles descriptifs sont soit purement descriptifs ou descriptifs à l'équilibre (se basant sur un marché avec une demande et une offre existante). Les modèles descriptifs à l'équilibre, les plus développés au sein du CRT, permettent de prédire ce qui va se passer. En prenant pour hypothèse des modifications telles que le maillage d'un réseau, les paramètres de service à assurer, ou encore la demande ou l'offre (en TC par exemple), on saura que l'on pourra obtenir un effet donné.

Un modèle purement descriptif pourra être celui qui répondra à la question suivante : combien de postes de péage sur une autoroute ou combien de guichets doit-on installer ? Il ne s'agit pas d'une optimisation mais d'une pure description.(x portes pour x véhicules).

Les modèles normatifs consistent à proposer des solutions, en fournissant aux décideurs des indicateurs et des critères d'aide à la décision.

Un débat d'école existe encore parmi les spécialistes de la modélisation, explique Robert Chapleau (Ecole Polytechnique de Montréal, groupe Madituc) : à quel modèle recourir en matière d'analyse des déplacements ? Dans le contexte québécois, il est possible de recourir au modèle EMME 2, lequel procède par affectation des trafics. Dans le cas d'un projet routier ou autoroutier, EMME 2 est utilisé pour une affectation d'équilibre. Pierre Tremblay de la Spin-Off INRO a de son côté tiré profit de EMME 2 pour l'adapter au calcul des impacts environnementaux liés au transport. Le logiciel MOBILE

6 est adapté au modèle EMME 2, qui s'appuie sur le principe de Wardrop, énoncé en 1952¹⁵. Mais dans l'analyse de l'effet global produit par l'ensemble de ces comportements, on peut distinguer deux affectations d'équilibre : normative d'une part et descriptive d'autre part. A l'équilibre, tous les chemins sont égaux au minimum, puisque l'individu peut prendre n'importe quel itinéraire pour atteindre sa destination : et en recourant à un tel modèle (type QSR2, Transcan), on ne connaît pas l'itinéraire. EMME 2 suit un principe de non unicité de la solution (toutes les solutions sont possibles pour l'individu en déplacement, sans choix arrêté d'un itinéraire). C'est la limite de EMME 2 (l'impossibilité d'identifier l'itinéraire). Dans le programme MADITUC, lequel repose sur l'enquête OD, le géocodage est systématique et exhaustif (inscription du pont franchi par l'utilisateur, le pont étant considéré comme facteur de congestion). Ensuite, toute information est vérifiée et validée (heures déclarées, itinéraires suivis, modes adoptés). Il n'y a pas de simulation des déplacements. C'est la méthode de désagrégation des données qui permet d'aller si loin. En intégrant des questions de plus en plus précises dans le questionnaire de l'enquête ménages (quel pont prenez-vous pour ?), la différence se fait entre la méthode MADITUC et les modèles d'affectation d'équilibre.

Une autre distinction doit être apportée dans la déclinaison des modèles : les travaux menés par le GERAD dans le cadre de l'étude sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre ont permis de montrer la pertinence du recours à deux modélisations complémentaires. La démarcation entre un modèle de simulation (type CIMS) et un modèle d'optimisation (type MARKAL) tient aux hypothèses formulées au départ et aux réponses à des contraintes identifiées. Un modèle de simulation vise à représenter les comportements de manière à considérer les résistances au changement. Le modèle tient donc compte des résistances de comportement opposées à un choix respectant l'objectif « réduction des émissions de gaz à effet de serre ». Un modèle d'optimisation sert à formuler des options en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre selon divers scénarios. Le choix des options repose sur la mesure la moins coûteuse, comme par exemple l'évolution d'un parc de véhicules connaissant un changement technologique favorisant la réduction des gaz à effet de serre.

Autre distinction à prendre en compte entre les modèles : la taille des bases de données et des mesures servant à alimenter cette base. Maryse Labriet (GERAD) distingue ainsi les modèles de grande taille (70 mesures), présentés sous forme de tableurs Excel (algorithmes) et les matrices (approche matricielle à deux entrées). Un modèle de grande taille comme MARKAL suppose que sur un choix de milliers de technologies existantes, la décision puisse se prendre selon la règle du moindre coût pour l'effet de serre produit par les émissions de CO₂.

Enfin la portée des résultats dans le temps constitue un critère de différenciation des modèles : Le modèle est dit « clairvoyant » lorsqu'il propose des résultats sur le long terme, soit 50 années (2000 à 2050). Le modèle est dit « myope » lorsqu'il produit des résultats période par période : on peut lui fixer une échéance de court terme (1 à 20 ans), par exemple en recours au gisement de charbon avec

¹⁵ qui interroge le comportement adopté par les individus en fonction de choix égoïstes.

diminution de la production jusqu'en 2020 puis reprise de la production/ utilisation de charbon de 2020 à 2050.

IV. Recherche et développement.

La possibilité de commercialiser et de développer des produits logiciels et des modèles est encore récente. Dans les années 70, les professeurs d'université étaient mal vus quand ils tiraient profit de leur recherche. Si les modèles et logiciels développés dans les laboratoires publics étaient nettement meilleurs que ceux produits par les organismes privés, les premiers ne trouvaient pas vraiment d'occasions de les commercialiser. En outre, ces modèles publics restaient onéreux et peu « conviviaux ». Mais les universités ne disposant pas des ressources humaines et financières nécessaires, la création de structures de développement ad hoc est apparue comme une issue. Enfin, il est impossible techniquement pour ces laboratoires d'avoir à assurer une prestation de commercialisation, laquelle implique un service de maintenance, de formation, de service après-vente etc. Il n'entre pas dans les compétences des universités d'assurer cette prestation (gestion des produits, service de maintenance, support de formation, conception et fourniture de guides d'utilisation, service clientèle etc). Enfin, la finalité des universités et de la fonction publique canadienne n'est pas de développer des produits de qualité industrielle poursuit Michel Gendreau, directeur du CTS. La création des Spin-Off s'explique de ce fait. Tout Ministère ou toute agence régionale peut acheter le support auprès de la Spin-off.

La recherche publique s'oriente essentiellement vers le développement d'outils (logiciels, modèles) sans les utiliser. De nature méthodologique, ce travail consiste à ajouter de nouvelles fonctionnalités, sur les capacités de mémorisation mais aucunement sur le contenu (CRT, Ecole Polytechnique de Montréal, UQAM-département d'Economie appliquée)

Un tableau récapitulatif des différents modèles évoqués lors des entretiens rencontrés est présenté ci-dessous. La difficulté de l'exercice tient à la classification de ces modèles, car ils sont au croisement de plusieurs méthodes et parfois intégrés en termes de données qu'il est difficile de les dissocier. En outre, plusieurs modèles sont construits sur une structure de modélisation existante et en améliorant la capacité d'analyse. C'est le cas par exemple de TRIPLEX et ses 3 versions successives, ou encore de MARKAL (version mondiale aujourd'hui, dite version 7). Cette démarche d'évolution des outils sous plusieurs versions successives améliorées est intéressante en terme d'optimisation des recherches et de la capitalisation collective. Les laboratoires ne cherchent donc pas à réinventer à chaque fois un modèle mais se penchent d'emblée sur l'existant.

Nom du modèle	Organisme d'origine	Caractéristique générale
Modèles d'optimisation		
MARKAL	<p>OCDE</p> <p>ETSAP (groupe de compagnies de l'énergie et des technologies, Energy Technology System Analysis Program, 1976)</p> <p>Université Mc Gill et GERAD (Montréal, Canada) : développement de la version Markal 7</p>	<p>Modèle d'optimisation (différent de la simulation). Modèle de programmation mathématique dynamique. Modèle énergétique de grande taille (70 mesures) établi par secteur formulé sous forme de programme linéaire. Développé en fin 1970 par un consortium de pays de l'OCDE sous l'égide de l'Agence Internationale de l'Energie. Le modèle permet d'analyser la compétition des énergies, des technologies selon des critères économiques, environnementaux ou d'indépendance énergétique sur la base des demandes de prestations énergétiques. L'optimisation du modèle permet de simuler une évolution de la configuration du système énergétique sur 30 à 40 ans. MARKAL 7, dernière version développée par le GERAD modélise à l'échelle mondiale.</p>
IFSD	Ressources Naturelles Canada (Ministère)	<p>Modèle économétrique de prévision de consommation de carburant et d'émissions, modèle peu désagrégé ; base de données de l'offre de production énergétique détaillée (pétrole, gaz, eau) mais limitée à 1999 ; sert à l'évaluation des ressources disponibles. Toutes échelles territoriales (ville, province, région, pays) et tous modes de production (tous transports). Fondé sur des données économiques. Méthode descendante.(opposé à EMME 2)</p>
EMME 2	CRT (Montréal, Ministère des Transports du Canada, 1980)	<p>Modèle de planification urbaine. Etude systématique réalisée sur les grandes villes du Canada (10), à partir d'une enquête habitant sur les itinéraires détaillés origine-destination. Modèle commercialisé par INRO (Spin-off du CRT). <i>C'est une « boîte à outils » qui vise à modéliser les transports. Il est souvent utilisé pour établir les trafics en amont de l'estimation de la pollution => ce n'est pas un modèle d'optimisation T&E</i></p>
NEMS	<p>USA, Ministères</p> <p>Ressources Naturelles du Canada</p>	<p>Modèle intégré, complexe et très détaillé, appliqué sous langage Fortran, datant des années 1990. Version canadienne développée sous MAPLE-6. Adaptation en cours de US-NEMS pour le Canada (Ministère des</p>

		Ressources Naturelles du Canada) pour des prévisions sur la demande de consommation énergétique et les émissions de GES. Il servira pour l'analyse des politiques énergétiques (taxes, redevances Transport). Ne prend pas en compte les TC ni les transports de marchandises.
INFORMETRICA (TIM et RIM))	Laboratoire privé canadien Informetrica Limited (Carl Sonnen), à Ottawa (Ontario)	Modèle économétrique dynamique permettant la projection macro-économique des prévisions de la demande (complète IFSD), liant la demande finale (750 catégories) et la production industrielle (133 industries) à l'échelon provincial et territorial (RIM), ainsi qu'à celui international (import-export). Ce modèle examine les décisions en matière de consommation, d'investissement, de production et de commerce dans l'ensemble de l'économie. Le TIM utilise les résultats d'ENERGY 2020 (investissement des capitaux, économies d'énergie, prix des permis d'émission) pour calculer les effets sur les activités économiques.
MOBILE 6	US-EPA	Développement d'une version canadienne par Environnement Canada. Pas d'usage par le Ministère Transport Canada. Modélisation des émissions de GES (taille parc véhicules, vitesses, climat)
MAPLE 6	?	Version canadienne de US-NEMS. Initiation à la modélisation de la pollution liée au Transport (Min. Transport Canada). Evaluation des coûts par tonne de réduction des GES émis (tous transports, étude Transport Canada).
Modèles de planification		
MADITUC	Canada, Ecole Polytechnique de Montréal.	Modèle de planification de la demande de transport sur les réseaux urbains. Aide à déterminer les capacités des réseaux en flux de déplacements sur les itinéraires origine-destination. Evaluation des coûts économiques des congestions urbaines. <i>C'est un logiciel, comme Emme2 => ce n'est pas un modèle d'optimisation T&E</i>
Modèle d'évaluation		
ACCESS 2000	?	Logiciel servant à l'évaluation de l'ordre de grandeur des impacts sur l'environnement par les transports. (département R&D de Transport

		Canada). Approche nationale (émissions GES, polluants de l'air, usages des territoires)
AQVM	Société STRATUS Consulting Inc (Washington, USA) Ministère Environnement Canada Ministère Santé Canada	Modèle (version 3.0) utilisé pour l'approche des fonctions d'endommagement. Modèle intégré qui comprend ENERGY 2020 et INFORMETRICA. Basé sur des valeurs sociales et économiques du marché, il repose sur des valeurs non monétaires (bienfaisance publique). Les fonctions de l'AQVM sont basées sur une 100 ^e d'études relatives à la santé humaine et aux effets produits par la pollution atmosphérique. Les impacts physiques sont rapportés à des niveaux de risque sanitaire puis multipliés par une valeur monétaire (\$).
ENERGY 2020	?	Modèle d'analyse multi-sectoriel simulant le prix, l'offre et la demande en combustible sur le marché nord-américain, est utilisé pour l'évaluation et la prévision des consommations d'énergie. Basé sur des niveaux de consommation d'énergie et sur des variations des émissions. L'impact d'un choix de politique énergétique (et donc d'une technologie) est évalué en termes de coûts sur les secteurs d'activités sur le moyen ou long terme. C'est un modèle de simulation de la prise de décision (choix énergétiques)
AERCo\$t TM	Environnement Canada (Ministère)	Le modèle AERCo\$t(MD), servant à évaluer les coûts directs de la réduction des émissions. Développé par SENES consultants Limited, ce modèle contient des informations sur le contrôle des technologies, sur les coûts relatifs au polluants atmosphériques et gaz à effet de serre. Servant à l'évaluation des stratégies de réduction des émissions aux échelons national/provincial/régional.
REFSORT	?	Modèle de détermination de l'impact sur ozone atmosphérique et particules.
AURAMS	?	Modèle employé sur les stations météorologiques <u>Modèle de dispersion concentration</u>
CRONOS	?	Modèle employé sur les stations météorologiques <u>Modèle de dispersion concentration</u>
CIMS	Université Simon Fraser (Vancouver, Canada)	Modèle de simulation

Modèle d'analyse comparative et de hiérarchisation		
HOLMES	?	Modèle d'analyse qualitative simple de comparaison et de hiérarchisation des priorités (modèle non mathématique)
SAATY	Développement commercial en logiciel EXPERT CHOICE	Modèle d'analyse quantitative hiérarchique et de comparaison des priorités.(modèle non mathématique)
Modèle de Bruit		
TNM	Federal Highway Administration	Modèle de simulation des bruits émis, basé sur des mesures des niveaux sonores in situ.
Modèle d'émission et d'évaluation des changements climatiques		
CENTURY	USA	Modèle mécanique des cycles de CO2 organique dans les sols et échanges sols/atmosphère Analyse des cycles CO2 => ce n'est pas un modèle T&E
TRIPLEX	Canada, UQAM, GREFI (2001)	Modèle d'analyse des cycles et échanges de CO2. Conçu par Changhui Peng, en partenariat avec l'Université de Lakehead (Ontario). Trois versions ont été élaborées (version 1 en 2001, 1,5 en 2003, version 2 en 2004). Basé sur des échanges biologiques et sur les cycles organiques, ce modèle (spécifique forestier) n'est pas transférable aux émissions des véhicules. Ce modèle prendra en compte dans le futur les concentrations de CO2 dans l'atmosphère pour l'évaluation des changements climatiques. Analyse des cycles CO2 => ce n'est pas un modèle T&E
OBM	Allemagne	Modèle mécanique des cycles d'échanges de CO2 entre atmosphère, biosphère et sols (conçu entre 1990 et 1995). Ce modèle permet une simulation rétrospective dans le temps (paléo-climatologie) Analyse des cycles CO2 => ce n'est pas un modèle T&E
ILUTE	Canada Université de Toronto, programme de recherche Transportation Engineering and planning University Laval, McMaster University, University of Calgary and Wilfred Laurier University	Système de modélisation intégré : d'usage du territoire urbain et des déplacements; comprend une emphase sur la compréhension des impacts sur les politiques de transport urbain et sur la consommation énergétique ; http://www.civ.utoronto.ca/sect/traeng/sustainable/ Domaine de recherche : Sustainable transportation.

V. Les échanges internationaux

Les échanges internationaux évoqués par les laboratoires présentent trois caractéristiques : soit ils relèvent d'initiatives individuelles entre chercheurs avec des acteurs de la recherche étrangère, soit les échanges s'inscrivent dans des programmes de recherche internationaux, soit ils répondent à des enjeux globaux mobilisant des pays ou des organismes (OCDE) autour de la capitalisation de données.

Pour les liens entre les personnes, il est dit explicitement par le directeur du CRT que "nous travaillons avec des personnes et peu avec des structures. S'il n'y a personne, cela ne veut plus rien dire."

Toutefois le CRT de Montréal établit des échanges et des accords de coopération avec des laboratoires français pour des co-directions de thèse. Sont cités ainsi des rapprochement formels avec le LAMIH à Valenciennes (laboratoire d'informatique, d'automatisation industrielle et humaine), le Laboratoire d'informatique à Avignon et le CNAM de Paris (conservatoire national des arts et métiers de Paris).

Dans le domaine de la modélisation, certaines équipes de recherche du GERAD de Montréal sont connectées avec des équipes françaises : c'est le cas de l'INRIA de Sophia-Antipolis (théorie des jeux), au travers de relations plutôt informelles, sans programme de recherche établi, mais seulement avec des activités communes. Il existe des programmes de recherche avec des centres de recherche français dans le domaine de l'énergie. Le directeur rejoint les propos du CRT, ajoutant qu'il n'y a pas vraiment de nécessité à formaliser les partenariats d'institution à institution. Pour illustrer les rapprochements avec la recherche française, la venue de la responsable des relations internationales de l'INRIA (Marie-Christine Imbert, à Rocquencourt près de Versailles), chargée des affaires européennes) sur Montréal, a porté sur la demande auprès du Fonds de Recherche québécois sur la recherche en sciences naturelles et génie civil. Il n'y a cependant pas d'échange sur des projets spécifiques à ce jour. L'orientation de la recherche française vers des programmes européens tend à éliminer quelque peu les opportunités de coopérations entre la France et le Canada.

Pour les enjeux globaux, de type "changement climatique et réduction des émissions à effet de serre", les coopérations tendent à se développer comme le souligne Changhui Peng (UQAM, GREFI). Les échanges avec les laboratoires français, tels ceux de Jean-Claude Duplessy (CNRS), de Bernard Saugier (écologie forestière, émissions CO₂, Paris XI), de Joël Guiot (Aix-Marseille CNRS) reposent à la fois sur les compétences scientifiques mais aussi sur la connaissance culturelle des interlocuteurs (séjour d'études en France, installation au Canada). Cette caractéristique se retrouve chez les chercheurs canadiens d'origine étrangère, maniant deux ou trois langues (chinois, français et anglais dans le cas de Changhui Peng).

Annexe 1 : Liste des acronymes et abréviations

AERCo\$t : Air Emissions Reduction Costing

AQVM : Air Quality Valuation Model (version 3.0)

ETS : Ecole des Technologies Supérieures

GERAD : Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions

GREIGE : Groupe de Recherche Interdisciplinaire en Gestion de l'Environnement; Institut des sciences de l'environnement. Université du Québec à Montréal (UQAM)

HEC : Hautes Etudes Commerciales

IAE : Institut d'Economie Appliquée, Université de Québec à Montréal

IFSD : modèle Inter Fioul Substitution Demand.

MADITUC : Modèle d'Analyse Désagrégée des Itinéraires de Transport Urbain Collectif (Ecole Polytechnique de Montréal.

MARKAL : MARKet ALlocation

NEMS : modèle américain NEMS pour National Energy Modelling System.

OBM : Osland Break Modelling, Biospher Model

STEPPE : Station Expérimentale des procédés pilotes en environnement (UQAM, Université de Québec à Montréal)

TNM : modèle de simulation *Traffic Noise Model*

UQAM : Université de Québec à Montréal

US-EPA : Environmental Protection Agency in United States of America

Annexe 2 : Les ressources documentaires

Un certain nombre de revues ont été identifiées comme étant de référence pour les milieux de la recherche au Canada, en dehors naturellement de revues scientifiques étrangères et en dehors de celle généraliste qu'est le *Canadian Journal of Civil Engineering* (Conseil national de recherche du Canada, CNRC) :

Dans le domaine des transports stricto sensu :

- *Transportation Science* (the publication of the transportation science, section of informs), publiée par Institute for operations research and the management sciences, Linthicum, MD, USA (ex / modèles de trafic/assignment models, distribution de Markov).
- *Association Transportation Canada*, Bulletin Info-transport (trimestriel)
- *Canadian Transportation Research Forum* (bulletin annuel)(www.ctrf.ca)

Dans le domaine des mathématiques :

- *Operations Research* (Edité sous la responsabilité scientifique de la [Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles](#) (SMAI) et de la [Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision](#) (ROADEF) avec le soutien du [Centre National de la Recherche Scientifique](#) (CNRS). ISSN (print edition): 0399-0559; ISSN (electronic edition): 1290-3868; Frequency: 4 issues per year).(**EDP Sciences** ; 17, avenue du Hoggar, Parc d'Activités de Courtaboeuf, BP 112, F-91944 Les Ulis Cedex A, France)

Dans le domaine de l'environnement :

Les principales revues scientifiques portant sur la modélisation environnementale sont :

- *Ecological Modelling* (éditions ELSEVIER science, mensuel)
- *Ecological Environmental Modelling and Software* (éditions ELSEVIER) (www.elsevier.com/locote/envsoft)
- *Nature Resources Modelling* (revue peu connue)
- *Environmental Research* (Elsevier, journal multidisciplinaire des sciences de l'environnement, de l'écologie et de la santé publique ; Editeur en chef : E. Silbergeld. John Hopkins University, Bloomberg School of Public Health, Room W6010G, 615 N. Wolfe St., Baltimore, MD 21205, USA.
- *Revue du génie et de la science de l'environnement* , revue scientifique du CNRC (Centre National de la Recherche du Canada) affiliée à la Société canadienne de génie civil, constitue une tribune de dissémination de résultats de recherche sur l'environnement et vise à stimuler la collaboration en recherche interdisciplinaire en vue de régler les problèmes environnementaux, qui touchent habituellement à plusieurs domaines. On y traite de tous les aspects du génie environnemental et des sciences environnementales appliquées.
- *The environmentalist*, Co-Editor-in-Chief : Peter G. Kevan, *Dept. of Environmental Biology & Botany Dept., University of Guelph, ON, Canada*; Jack T. Trevors, *Dept. of Environmental Biology, University of Guelph, ON, Canada*.

Annexe 3 : liste des organisations consultées.

ENVIRONNEMENT CANADA

Direction des systèmes de transport Environnement Canada

Ottawa (Ontario) K1A 0H3

Téléphone : (819) 953-9967

Télécopieur : (819) 953-7815

Environnement Canada / Environnement Canada

10 Wellington Street, 22nd Floor / 10, rue Wellington, 22ième étage

Tel: (819) 953-3392

Fax: (819) 9534679

Bureau National de la Prévention de la Pollution

Place Vincent Massey,

13e étage,

351 Bvd Saint-Joseph

HULL QUEBEC

KEA0 H3

Tél : 8006686767 (ouvert 8h30-16h30, Est Canada)

Fax : 8199537970

Web : www.ec.gc.ca

AGENCE CANADIENNE D'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE

OTTAWA

22^e étage, Place Bell

160, rue Elgin

Ottawa (Ontario) K1A 0H3

Tél. : (613) 957-0700

Télééc. : (613) 957-0862

info@acee-ceaa.gc.ca Pour toute question ou commentaire général

site@acee-ceaa.gc.ca Pour les commentaires ou les questions à propos du site Web

Mme D. Kaiser, directrice, Recherche et développement, Agence canadienne d'évaluation
environnementale

22e étage, Place Bell

160, rue Elgin

Ottawa (Ontario) K1A 0H3

Télééc. : (613) 957-0897

Courriel : rd@acee-ceaa.gc.ca

Bureau du Québec

1141, route de l'Église, 2e étage, Sainte-Foy (Québec) G1V 4B8, Tél. : (418) 649-6444, Téléc. : (418) 649-6443, Courriel : ceaa.quebec@acee-ceaa.gc.ca

Bureau de l'Ontario

55, avenue St-Clair est, bureau 907, Toronto (Ontario) M4T 1M2; Tél. : (416) 952-1576, Téléc. : (416) 952-1573; Courriel : ceaa.ontario@acee-ceaa.gc.ca

M. David J. Robinson, Conseiller principal, Études approfondies et examens préalables; Agence canadienne d'évaluation environnementale; 22^e étage, Place Bell; 160, rue Elgin; Ottawa (Ontario) K1A 0H3

Tél. : (613) 957-957-0024; Téléc. : (613) 957-0941; Courriel : david.robinson@acee-ceaa.gc.ca

TRANSPORT CANADA

Ministère Transports Canada

Affaires environnementales

Gestionnaire, analyse économique

330 rue Sparks, 18^e étage, section C, place de Ville, Tour C, Ottawa

CENTRE POUR LE TRANSPORT DURABLE.

Al Cormier, CAE, Président, directeur général

Le Centre pour un transport durable

Suite 309, 15-6400 Millcreek Drive

Mississauga, ON L4N 3E7

Tel: 905 858 9242

Télec: 905 858 9291

Courriel: transport@cstctd.org

Richard Gilbert, Directeur de recherche

Le Centre pour un transport durable

15 rue Borden

Toronto, ON M5S 2M8

Tel: 416 923 8839

Télec: 416 923 6531; Courriel: richardgilbert1@csi.com; Site internet : www.cstctd.org

UNIVERSITE DE QUEBEC A MONTREAL

Institut des Sciences de l'Environnement ; GREFI

Changhui PENG ; département des sciences biologiques, Institut des sciences de l'environnement.

CHAIRE DE RECHERCHE DU Canada EN MODELISATION ENVIRONNEMENTALE.

Peng.changhui@uqcam.ca

Tél : (514) 987-3000 (poste 1056)

Groupe- GREIGE

Groupe de recherche interdisciplinaire en gestion de l'environnement. Institut des sciences de l'environnement. Université du Québec à Montréal

*Adresse postale:*GREIGE-UQAM.Case postale 8888. Succursale Centre-Ville. Montréal, Québec. Canada, H3C 3P8

Adresse civique. Pavillon Président Kennedy,local PK-3235. 201, avenue du Président Kennedy.Montréal (Québec) Canada. H2X 3Y7

Téléphone. (514) 987-3000, poste 4427 ; Télécopieur. (514) 987-4718 ; Courrier électronique. greige@uqam.ca

Le GREIGE n'a pas de personnel permanent. Les professeur(e)s et chercheur(e)s se succèdent en fonction des intérêts et des disponibilités ainsi que des commandites et des subventions de recherche. L'équipe actuelle est formée des personnes suivantes.

- [Réjean Belzile](#), UQAM

Ph.D. en Administration. École d'Hautes études commerciales. Montréal.

Directeur des études supérieures spécialisées en sciences comptables.

Gestion financière aux plans national et international

- [Patrick Béron](#), UQAM

Ph.D. en Génie Civil. École Polytechnique de Montréal. Canada.

Génie de l'environnement. Modélisation. Informatique appliquée

- [Maryse Labriet](#) , GERAD

Ingénieure. Génie énergétique. Institut National des sciences appliquées. Lyon (France).

Modélisation environnementale et énergie.

- [José A. Prades](#), UQAM

Licencié en Sciences économiques. Univ. de Madrid (Espagne). Ph.D. en Sociologie Univ. de Louvain (Belgique). .Environnement et développement: aspects socio-économiques, épistémologique et éthique.

Directeur du GREIGE.

- [Jean-Pierre Revéret](#), UQAM

Docteur en sciences économiques, Univ. de Clermont-Ferrand, France.

Directeur du Programme de maîtrise en sciences de l'environnement.

Gestion de l'environnement. Politiques et outils du développement durable.

- [Jean-Philippe Waaub](#), UQAM

Ingénieur agronome, Belgique. Ph.D. aménagement/planification environnementale, Univ. de Montréal.

Analyse multicritère, planification et évaluation environnementale.

GERAD, GLOBAL ENERGY MODELLING GROUP

Adresse postale : 3000 chemin de la Côte Ste Catherine, Montreal, Québec, H3T 2A7., Canada

Adresse géographique : GERAD, pavillon Andre Aisenstadt, 2920 Chemin des services, Montréal, Québec, H3T 1 J4, Canada

mail : gemg@crt.umontreal.ca ; Tél : (514) 340 6053 (ext : 6032) ; Fax : (514) 340 5665 ; Site Web : www.gerad.ca

Membres du GERAD :

- Claude Berger : berger.claude@hydro.qc.ca
- Alain Haurie : haurie@ibm.unige.ch
- Amit Kanudia : amit@crt.montreal.ca (GERAD et KANORS)
- Maryse Labriet : labriet_maryse@hotmail.com
- Denis Lavigne : denisl@ireq.ca
- Richard Loulou : loulou@management.mcgill.ca (GERAD et HALOA)
- Gilles Savard : gilles@crt.umontreal.ca
- Kathleen Vaillancourt : kvallancourt@hotmail.com
- Jean-Philippe Waaub : waaub.jp@uqam.ca
- Georges Zaccour : georges.zaccour@hec.ca

Ecole Polytechnique de Montréal, Groupe MADITUC

Planification des transports, Laboratoire de géo-informatique,

Département des génies civils, géologique et des mines

PB 6079, station Centre Ville, Montréal, Québec, H3C 3A7, Canada

Robert Chapleau et Catherine Morency

Tél : (514) 340-4711 (poste 4809)

Télécopie : (514) 340-5763

rchapleau@mail.polymtl.ca

UNIVERSITE DE QUEBEC A MONTREAL ; ECOLE DES TECHNOLOGIES SUPERIEURES

Robert Hausler : (514) 396-8499

Secrétariat (Maria Hausler) : (514) 396-8800 / poste 7935

Mathias Glaus : (514) 396-8800 / poste 7939

Glaus.mathias@uqam.ca

Site Web : www.etsmtl.ca (génie de la construction)

HAUTES ETUDES COMMERCIALES DE MONTREAL

HEC, Institut d'Economie Appliquée

3000 chemin de la Côte Sainte-Catherine, Montréal, Québec

Robert Gagné, titulaire de la chaire

Tél : (514) 340 6435; Télécopie : (514) 340 6469 ; e-mail : robert.gagne@hec.ca

Site Web : www.hec.ca

Université LAVAL à Québec

Faculté des Sciences et de Génie, Département Génie Civil

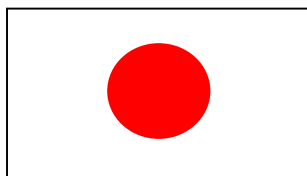
Pavillon Adrien Pouliot, Local 2915, Québec, G1K 7P4, Canada

Rosa Galvez-Cloutier, professeur

Tél : (418) 656-2045 ou (418) 265-4982 ; Télécopieur : (418) 656-2928

Rosa.Cloutier@gci.ulaval.ca; site web : www.gci.ulaval.ca

9. La recherche dans les domaines modélisation transport / environnement au JAPON



Eric Baye (Economie & Humanisme)

Août 2005

I. Introduction : contexte et présentation de la mission

1. Contexte

Le Japon¹⁶ a toujours accordé aux transports et à leur planification une place centrale dans son développement économique, et au demeurant militaire (ferroviaire) avant 1945. Suivant l'exemple européen, britannique et allemand notamment, c'est à l'ingénierie civile qu'est revenue la mission de penser et d'organiser les systèmes de transports. Certainement plus qu'ailleurs, les ingénieurs civils conservent globalement cette prérogative. On en voudra pour preuve le traitement de la problématique économique dans les transports, qui a pu donner lieu ailleurs – notamment en France et au Royaume-Uni – à des courants spécifiques de l'économie appliquée ; au Japon, les départements d'ingénierie civile ont plutôt cherché à intégrer des formations économiques de manière à rester fortement présents dans les débats économiques importants orientés vers l'action des pouvoirs publics (réformes des chemins de fer et, aujourd'hui, celle de la gestion des autoroutes). Les économistes ne se désintéressent pas de la question des transports, mais plutôt à travers les aspects macroéconomiques, financiers (privatisations par ex.), les aspects fiscaux de la politique environnementale (cf. infra), ou encore à travers les approches de l'économie spatiale et des théories urbaines¹⁷. D'autres disciplines s'intéressent au transports, on le verra dans cette monographie, certaines à des fins complètement théoriques et donc peu envisagées ici¹⁸.

¹⁶ Nota : Les noms de personnes respectent la tradition japonaise, soit le patronyme suivi du prénom.

¹⁷ Voir par exemple les travaux du Professeur Fujita Masahisa, directeur de l'Insitute of Economic Research de l'Université de Kyoto (KIES), ou ceux du Professeur Sugiyama Masahiro (Graduate School of Commerce, Waseda University) sur les approches théoriques de l'économie des transports.

¹⁸ Citons par exemple, à propos de la modélisation du flux de trafic, la physique, avec les travaux de Yukawa Satoshi et Kikuchi Macoto (université d'Osaka), ou encore ceux (mathématiques / physique) de Nishinari Katsuhiro (université de Yamagata) et Takahashi Daisuke (université de Waseda).

Un peu à l'image de la France, le Japon est resté longtemps un pays où la *doxa* en matière de méthodologies relatives aux projets d'infrastructures de transports était largement produite par les technocraties d'Etat, en particulier celles du Ministère de la Construction, et les entreprises publiques (autoroutes, chemins de fer), en association avec quelques associations technico-professionnelles, et les départements d'ingénierie civile d'un nombre limité d'universités (en l'occurrence celles de Tokyo et Kyoto) desquelles étaient issus les principaux décideurs des domaines publics et parapublics.

Les investigations réalisés sur Internet avant la mission ont surtout permis d'identifier des laboratoires de recherche appartenant aux départements d'ingénierie civile et d'environnement. C'est donc vers eux que la mission s'est naturellement orientée. Des recherches élargies à d'autres milieux de recherche ont été menées suite à la mission pour corriger ce biais, mais à l'échelle d'un pays comme le Japon, nos investigations sont restées modestes, plus indicatives qu'exhaustives. Les entretiens ont conduit à fréquenter les mêmes milieux disciplinaires, à croiser « maîtres » et « élèves », parfois devenus eux-mêmes professeurs. Même si ces milieux semblent occuper le terrain du rapport recherche / action publique dans le domaine de la modélisation des transports, une étude plus poussée aurait certainement mis en évidence des perspectives de recherche ouvertes par des milieux non directement issus du sérail de l'ingénierie civile – comme le suggère le rôle des départements d'architecture ou d'ingénierie industrielle dans la modélisation des effets sonores par exemple.

2. Mission au Japon

La mission prévue au Japon a été réalisée entre le 13 et le 23 mai 2005. De fait, le degré de réponse aux demandes d'entretiens a été remarquablement élevé : aucun refus et une seule impossibilité, due à l'absence du Japon de la personne sollicitée. La mission a permis de recueillir un nombre assez considérable de matériaux scientifiques, il est vrai pour beaucoup d'entre eux assez indirectement liés au sujet. Alors qu'il était envisagé de restreindre initialement les investigations à la région de Tokyo, on a élargi celle-ci aux universités de Kyoto et de Nagoya dans le but de dresser une monographie qui soit la plus nationale possible. Le contenu des entretiens conduits dans ces deux villes s'est avéré très utile l'étude.

Le nombre d'entretiens menés (voir liste ci-dessous) permet probablement de se faire une idée relativement fidèle de la situation actuelle de la recherche en modélisation des déplacements au Japon Cela étant, certains milieux scientifiques n'ont malheureusement pas été sollicités, faute de temps : économistes, météorologistes, architectes, physiciens par exemple. Quoique la demande de modèles par les utilisateurs soit exclue du champ initial de notre étude, mentionnons aussi les milieux de l'ingénierie, et, plus en aval, les collectivités, les organisations professionnelles et les administrations centrales et déconcentrées. Dans certains cas, les correctifs ont pu être apportés grâce à notre connaissance des milieux de la R&D au Japon suite à nos travaux réalisés précédemment dans ce pays (Baye & Kirat, 1998, Baye & Rigaud, 2001 ; Baye, 2002).

Numéro entretiens	Lieux	Organismes	Personnes
1	Tokyo	Tokyo Institute of Technology, Dept. of Civil Engineering	Fujii Satoshi, Professeur Associé
2	Tokyo	University of Tokyo, Dept. of Urban Engineering	Harata Noboru, Professeur, Ohmori Nobuaki, Assistant
3	Tokyo	Toyo University, School of Regional Development Studies	Ohta Katsutoshi, Professeur
4	Tokyo	University of Tokyo, Dept. of Civil Engineering	Shimizu Tetsuo, Professeur Associé
5	Yokohama	Tokyo Institute of Technology, Dept. of Built Environment, Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering	Yai Tetsuo, Professeur, Muromachi Yasunori, Professeur Associé, Fukuda Daisuke, Professeur Associé
6	Tokyo	Public Works Research Institute, Material and Geotechnical Engineering Research Group (Tsukuba)	Meiarashi Seishi, Chercheur senior
7	Tokyo	Institute for Transport Policy Studies	Itoh Makoto, Directeur, Furuichi, Chercheur senior, Hibino Naohiko, chercheur
8	Kyoto	University of Tokyo, Dept. of Urban Management	Aoyama Yoshikata, Professeur, Nakagawa Dai, Professeur Associé, Karatani Yuka, chercheur associé
9	Nagoya	Nagoya University, Graduate School of Environmental Studies	Morikawa Takayuki, Professeur
10	Nagoya	Nagoya University, Dept. of Civil Engineering	Yamamoto Toshiyuki, Professeur Associé
11	Nagoya	Nagoya University, Graduate School of Environmental Studies	Hayashi Yoshitsugu, Professeur
12	Tokyo	Ministry of Environment, Environmental Policy Division / Environment Management Technology Office	Kakishita Yoshihiro, Directeur Adjoint, Kubota Hidenobu, Directeur Adjoint

Chaque entretien a duré de une à deux heures, sans qu'il soit toujours possible d'amener les interlocuteurs à répondre avec la précision souhaitée aux questions posées (la plupart du temps adressée préalablement par email.). Outre ces entretiens approfondis, la mission a donné lieu à des échanges directs, mais plus superficiels, avec :

- Kobayashi Hikaru, Director General, Environment Management Bureau, Ministry of Environment
- Mohri Yuichi, Deputy Director, General Social Research Group, The Institute of Behavioral Sciences

D'une manière générale, les interlocuteurs se sont volontiers exprimés sur leurs activités (non sans préalablement s'assurer des objectifs de notre mission à travers un véritable « entretien à l'envers »). Toutefois, il s'est avéré beaucoup moins facile – on le savait – d'amener les spécialistes à dresser de grands panoramas de l'état de la recherche dans leur pays. Les cloisonnements institutionnels sont souvent considérables au Japon, beaucoup plus hermétiques qu'en Europe. De surcroît, la culture japonaise prédispose mal à l'extrapolation qu'exige ces panoramas. Remonter dans le temps n'a pas non plus été facile : rares furent nos interlocuteurs en mesure de retracer de manière précise l'histoire même de leur laboratoire...

Pour terminer cette introduction, signalons le fait qu'au Japon, on rencontre peu de modèles baptisés d'un nom spécifique comme le sont DAVIS, MATISSE ou encore FRETURB en France. Les laboratoires ne goûtent manifestement pas cette pratique, que l'on réserve plutôt aux logiciels diffusés à grande échelle, gratuitement ou non. Cette caractéristique ne facilite pas le repérage de "modèles", et en tous les cas la restitution que l'on peut en faire dans un rapport tel que celui-ci.

Cette monographie sera composée des présentations suivantes

- Le contexte organisationnel de la recherche : les acteurs du système de production / utilisation de l'innovation relative à la modélisation transport environnement.
- Le contexte politique de la recherche : la place du lien transport environnement dans les politiques de transport au Japon.
- Les domaines de recherche et l'activité des laboratoires de recherche universitaires (ingénierie civile et environnementale essentiellement).

II. Les principaux acteurs du système de production d'innovation en matière de modélisation des transports

Les processus d'innovation sont à la fois interactifs et complexes, comme le montrent les multiples travaux consacrés aux systèmes d'innovation, dont certains spécifiquement consacrés au Japon¹⁹ : dans ces conditions, la distinction offre / demande peut légitimement apparaître comme trop rudimentaire pour en rendre compte. Cela étant, elle reste suffisamment simple pour clarifier le paysage dans le cadre de l'exercice très circonscrit qui est le nôtre. On présentera séparément les organisations professionnelles et associations techniques dont la fonction apparaît comme intermédiaire, ou en tous cas spécifique

¹⁹ Voir par ex. Odagiri H, Goto A., 1993, The Japanese System of Innovation: Past, Present and Future, in Nelson R. National Innovation Systems: A Comparative Analysis, New York Oxford University Press, pp. 76-114.

1. L'offre : La recherche

a. Les universités

Il existe plusieurs types d'établissements supérieurs au Japon.

- Les universités (*daigaku*) anciennement nationales²⁰, présentes dans toutes les grandes villes (Université de Tokyo, Université de Kyoto, Universités de Yokohama, de Tsukuba, d'Osaka, de Chiba, etc....).
- Les instituts technologiques universitaires (Tokyo Technological Institute, Musashi Institute of Technology, Nagoya Institute of Technology,...), eux aussi à double vocation : formation et recherche. Ils sont ouverts sur le seul champ de disciplines techniques. En dehors de cette particularité, ils doivent être considérés comme des universités.
- Les universités privées (en particulier réputées en économie comme Waseda et Sophia à Tokyo, Doshisha à Kyoto, (...)) et les universités « municipales » (City University of Yokohama, City University of Nagoya ...). Cette catégorie d'établissements est cependant peu représentée dans le domaine qui nous intéresse.

Les universités sont l'objet d'un classement qui détermine en principe le niveau requis des étudiants désireux de s'y inscrire. Traditionnellement, les deux universités les plus prestigieuses, au moins dans les domaines scientifiques, sont celles de Tokyo (Todai) et de Kyoto (Kyodai) qui sont précisément celles à partir desquelles s'est développée la recherche en modélisation des transports. Les C.V. des chercheurs de plus de quarante ans révèlent que la plupart d'entre eux en sont issus, y ont fait leurs armes en tant que chercheurs ou professeurs associés avant d'être promus dans d'autres universités.

Les universités sont souvent organisées en établissements d'enseignement de troisième cycle (*graduate schools*), facultés et départements, au sein desquels on trouve les laboratoires de recherche. La pratique est moins de désigner un laboratoire par un nom spécifique – même si c'est parfois le cas, comme le TRIP (Transport Research and Infrastructure Planning) de l'université de Tokyo, que par celui de son directeur. L'organisation la plus courante d'un laboratoire de recherche tels ceux que nous avons visités est la suivante :

- 1 Directeur (titre de professeur)
- 1 Professeur Associé
- Chercheurs associés (en nombre limité en général) : post doctorants et doctorants
- Etudiants : niveau master et postgraduate

Dans les universités, les étudiants commencent à se familiariser avec les outils dès la troisième année, et participent au développement des modèles à partir de leur maîtrise et du doctorat (Ph. D).

La réforme récente des établissements d'enseignements supérieurs va conduire, entre autres, les laboratoires universitaires, à pouvoir s'attacher les services de chercheurs temporaires (issus ou non de l'université) sur la base de projets. D'une manière générale, cette réforme vise à renforcer la qualité de la recherche en évitant les écueils d'une fonctionnarisation de fait systématique des chercheurs encadrants, tradition fort mal jugée par les tenants du « moins d'administration publique », au pouvoir au Japon depuis plusieurs années.

Le transport n'est pas l'apanage des facultés ou départements d'ingénierie civile. Ainsi, les problèmes de consommation d'énergie et d'émissions de polluants par les véhicules relèvent-ils généralement de l'ingénierie mécanique ou industrielle (voir par ex. le Professeur Daisho Yasuhiro, de l'Université de Waseda), parfois de départements généralistes d'environnement (Professeur Yagishita Masaharu, Graduate School of Global Environmental Studies, Sophia University). Les problèmes vibratoires sont plus directement abordés par les départements d'industrie mécanique (par ex. travaux des chercheurs du Kyushu Institute of Technology ou de l'Université de Kyushu autour des incidences du bruit, en particulier lié au trafic aérien, mais aussi routier²¹). Cela étant dit, les départements d'ingénierie civile regroupent incontestablement une grande partie des équipes spécialisées, en couvrant les secteurs suivants : route, développement urbain et régional, gestion du trafic, interface transport/environnement et transports/aménagement. On l'a déjà signalé, les compétences en économie des transports, tout particulièrement pour la formalisation, se retrouvent essentiellement, elles aussi, dans ces facultés d'ingénierie civile.

L'ingénierie environnementale se rattache historiquement à l'ingénierie civile. Toutefois, le qualificatif « environnemental » attribué à un département ou à une faculté renvoie plutôt aux secteurs de l'eau et de l'assainissement, aux déchets, à la pollution atmosphérique, à la consommation d'énergie, et à l'hydraulique. Il est intéressant de noter, par exemple, que le laboratoire du professeur Hanaki Keisuke de l'université de Tokyo (Département d'ingénierie civile) ne s'intéresse pas aux transports alors qu'il privilégie les méthodologies d'impacts environnementaux, la modélisation des problèmes de pollution (dont atmosphériques) et l'analyse du métabolisme urbain à travers les flux de matières premières et d'énergie²². Par ailleurs, le programme de formation « Urban Environment Program » toujours, à l'Université de Tokyo, qui rassemble plusieurs laboratoires, ne compte aucun spécialiste des transports. Certains départements s'intitulent « d'ingénierie civile et d'environnement », mais les deux domaines demeurent séparés par la ligne de partage sectorielle esquissée ici.

²⁰ La très récente réforme statutaire des universités d'Etat en fait des établissements beaucoup plus autonomes, dans une perspective de stimulation du système de recherche et de plus grande diversification de sources de fonds destinés à le financer. Le terme d'université nationale ou d'Etat est d'ailleurs désormais caduc.

²¹ Travaux relativement anciens cependant (années 70). Voir notamment les travaux de K Tagaki, et K. Hiramatsu.

²² <http://www.env.t.u-tokyo.ac.jp/hanakilab/indexE.html> Le laboratoire s'est intéressé dans le passé au cycle de vie des infrastructures mais semble avoir abandonné cette orientation.

b. Instituts de recherche appliquée

Dans un pays où domine largement la culture d'ingénieur comme le Japon, la recherche appliquée joue traditionnellement un rôle considérable. Elle a eu pour mission historique de répondre aux besoins d'innovation de l'appareil industriel et de l'Etat japonais, dans la double perspective de renforcer la compétitivité nationale et, plus récemment, d'assurer au Japon un statut de grande puissance technologique mondiale, à l'égal des Etats-Unis et de l'Europe. On distinguera cinq grandes catégories.

- 1) Instituts de recherche publics d'Etat. Le Japon dispose de multiples instituts de recherche qui dépendent chacun d'un ministère donné, et qui d'ailleurs sont, les uns par rapport aux autres sujets aux cloisonnements qui caractérisent traditionnellement l'administration japonaise. Nombre d'entre eux sont basés à Tsukuba. Le premier en termes d'effectifs est le National Institute of Advanced Industrial Sciences and Technologies (AIST), qui compte plusieurs milliers de chercheurs, principalement investis sur les technologies industrielles. L'AIST a mis au point les modèles/logiciels de dispersion des émissions/expositions (ADMER²³, et actuellement ROAD SIDE), qui intègrent – spécifiquement pour le second, les effets liés au trafic²⁴. Dans le domaine spécifique des transports, les acteurs sont le Public Works Research Institute (PWRI) et le National Traffic Safety and Environment Laboratory du Ministère des Infrastructures et des Transports, et dans une moindre mesure le National Research Institute of Police Science placé sous la tutelle de l'Agence Nationale de la Police. Dans le domaine de l'environnement, et sous la responsabilité du Ministère du même nom, le National Institute for Environmental Studies (NIES) dispose d'une équipe de spécialistes du contrôle des pollutions liées au trafic, et des incidences du développement de la motorisation électrique²⁵. Ces organismes, assez comparables dans l'esprit à l'INRETS, au BAST, et au TRL avant sa privatisation, ne dispensent pas de formations, mais valident tout de même (en lien avec les universités apparemment) dissertations et thèses reconnues ensuite dans les carrières des chercheurs. Ils répondent avant tout aux besoins spécifiques et opérationnels de leur administration de tutelle, même si leur autonomie est désormais considérée comme acquise. L'investigation n'a malheureusement pas permis de comprendre en quoi, très précisément, ces différents instituts pouvaient être complémentaires ou concurrents des universitaires (et si cette concurrence avait un réel effet d'émulation scientifique) dans le domaine qui nous intéresse ici.

²³ ADMER: Atmospheric Dispersion Model for Exposure and Risk Assessment

²⁴ Notamment l'évaluation de l'ozone pour ROAD SIDE. Le développement des deux modèles / software ici cités, qui ont vocation à être largement utilisés et diffusés gratuitement, revient aujourd'hui à l'Environmental Exposure Team de l'AIST. ADMER en est aujourd'hui à sa cinquième version. ROAD SIDE est en cours d'élaboration. A noter également le travail autour de l'outil ANEMOS qui devrait permettre une évaluation plus performante des émissions de benzène à l'échelle régionale.

²⁵ Mentionnons également l'Institute of Public Health qui a consacré quelques travaux aux incidences du bruit du au trafic sur la santé, notamment dans le cadre d'une étude empirique (enquête) conduite au milieu des années 90, et publiée par le *Journal of Sound & Vibration* en 1997 (vol 205, n°4).

Tableau : Instituts de recherche liés aux ministères techniques et la question transport/environnement

Nom de l'organisme	Lien aux transports	Modélisation transport /Environnement
Public Works Research Institute; Traffic Environment Division (rattachement : MLIT)	Construction, amélioration et entretien des réseaux : autoroutes, routes, ouvrages d'art	Modèles vibrations (modèle analytique développé par le PWRI), nuisances sonores (à partir du modèle ASJ), pollutions atmosphériques (sur la base du modèle gaussien d'origine autrichienne PUFF PLUME)
National Traffic Safety and Environment Laboratory, Traffic System Research Dept. et Environment Research Dept. (rattachement MLIT)	Sécurité, consommation et pollutions des véhicules et des systèmes de transports publics terrestres.	Modèles de simulation des transports publics urbains. Modèle de prévision des nuisances sonores liées au trafic. Mesures d'émissions de méthane, de dioxyde de carbone et d'oxyde d'azote par les véhicules. Efficacité énergétique des moteurs.
National Research Institute of Police Science, Dept. of Traffic Sciences (rattachement : National Police Agency)	Contrôle, gestion et sécurité de la circulation, comportements des automobilistes	Modèle en cours d'élaboration, visant à simuler les effets de modification de la gestion du trafic sur les émissions de polluants et sur les nuisances sonores.
National Institute of Advanced Industrial Sciences and Technologies (AIST). Atmospheric Environment Team et Environmental Exposure Team (rattachement : METI)	Pollutions atmosphériques liées à la circulation	Production de modèles de dispersion et d'exposition des zones à échelle régionale (ADMER) au voisinage des réseaux (ROAD SIDE). Travaux sur le modèle ANEMOS (incidence des émissions de benzène par les véhicules)
National Institute for Environmental (NIES), Management Studies (rattachement : MoE), Traffic Pollution Research Team Dir. Moriguchi Yuichi	Pollutions atmosphériques liées aux activités humaines en général, approches souvent très macroscopiques (Asie de l'est). Planification environnementale.	Travaux sur le lien trafic / environnement à la fin des années 90. La problématique transport / environnement abordée plus récemment à travers le lien impact du trafic sur les pollutions.

- 2) Les instituts de recherche privés. Ils sont explicitement à vocation commerciale, ou classés sous l'étiquette d'organismes à buts non lucratifs. Ils sont souvent des think tanks au service de leurs groupes de rattachement (Mitsubishi Research Institute, Kawasaki Research Institute), ou des pouvoirs publics. Parmi eux, certains se positionnent sur les études prospectives dans le domaine de l'aménagement et des infrastructures (Baye, 2002).

D'autres ont fait de la problématique technique transport environnement un champ de travail essentiel :

- Toyota Transportation Research Institute
- Research Institute of Japan Highway Public Corporation qui a travaillé sur un modèle de simulation de pollution atmosphérique au voisinage des issues de tunnel en lien avec l'Université de Tokyo.
- Japan Automobile Research Institute (véhicules propres, émissions de polluants, économies d'énergie, nuisances sonores).
- Railway Technical Research Institute
- i-Transport Co. Ltd²⁶. (à travers le Pr. Horiguchi Ryota) qui a joué un rôle important dans le développement des modèles de simulation du trafic AVENUE et SOUND avec l'université de Tokyo (Institute of Industrial Sciences du Professeur Kuwahara).
- Mitsubishi Electric Corporation (modèle de simulation de trafic sur voies urbaines et interurbaines MELROSE²⁷, modèle VETRAC)

- 3) Les instituts de recherche des collectivités. Ils restent discret dans la dynamique de recherche en modélisation. Mentionnons le Tokyo Metropolitan Research Institute for Environment Protection ; dont les travaux concernent les études de mesures (bruits, émissions dues au trafic), en particulier dans une perspective de mise en œuvre des réglementations.
- 4) Les associations de recherche. Spécificité du système d'innovation japonais (Baye, Rigaud, op. cit.), elles rassemblent généralement des industriels, des instituts de recherche publics, des bureaux d'études, des collectivités parfois, et sont généralement chargées de coordonner des programmes cofinancés par les ministères (voir ASHRA dans le domaine des NTIC appliquées à la route). Mais aucune association de recherche n'a manifestement été montée dans le domaine de la planification des transports, en partie faute de grand programme national de recherche de ce type.
- 5) Les bureaux d'études, mais contrairement à leurs homologues britanniques ou allemands les consultants japonais assurent davantage un rôle de diffusion de l'innovation que de foyer de recherche. Certains d'entre eux, cependant, dérogent à ce principe en fonction des secteurs : on l'a déjà noté dans le domaine de l'eau (Baye, Kirat, 1998). Il en va de même dans le secteur des transports, où certains sont plus étroitement associés aux travaux des multiples commissions techniques nationales ou professionnelles, comme IBS, Fukken ou Pacific

²⁶ Cet institut dépend apparemment du groupe de construction Kumagai Gumi, qui dispose par ailleurs d'une équipe de spécialistes de l'ITS appliquée à la gestion du trafic, le Transportation System Group, au sein du Planning Department, Civil Engineering Division. Ces derniers ont par exemple mis au point le simulateur de trafic pour réseau urbain FAVENUE, le système de planification du stationnement FKARCOS, le simulateur de trafic avec représentation tridimensionnelle F3D-GRASS.

²⁷ MELROSE : Mitsubishi Electric Road Simulation Environment

Consultants Ltd. par exemple. Cette distance des consultants par rapport à la recherche – et à l'innovation en général - s'explique par le fait que les bureaux d'études japonais se contentent généralement de se plier aux procédures et recommandations émanant des ministères techniques et des organisations professionnelles. Il n'existe pas non plus de liens individuels privilégiés entre le monde du conseil et celui de la recherche, incarnés ailleurs (Canada, Allemagne, USA,...) par l'activité de consulting des universitaires, parfois responsables de bureaux d'études. Cela étant, eu égard aux évolutions techniques et méthodologiques relatives à la collecte et au traitement des données, cette situation est peut être progressivement, en train de changer.

2. La demande : Les autorités centrales et locales, les entreprises de transport

a) Autorités centrales

1. Ministère de l'Éducation, de la Culture, des Sports, des Sciences et de la Technologie Il supervise à la fois l'enseignement et la recherche universitaire. Il est prévu qu'il finance désormais, davantage la recherche sur la base d'appels d'offres compétitifs. Dans la dernière décennie en tous les cas, le Ministère n'a financé aucun programme de recherche spécifique touchant aux transports.

Soulignons ici l'existence de la Japan Society for the Promotion of Sciences (JSPS), fondation autonome créée en 1932 sous impulsion impériale, et dont l'objectif est d'encourager la recherche, non seulement au Japon, mais dans le reste du monde. La JSPS contribue manifestement pour une part non négligeable à la recherche universitaire japonaise sur les transports. Bien qu'autonome dans son fonctionnement, elle est placée sous la tutelle nominale du Ministère de l'Éducation.

2. Ministère de l'Environnement (MOE) Il a succédé à l'Agence de l'Environnement en 2001. La réforme a concrétisé la volonté politique de renforcer la protection de l'environnement dans un contexte institutionnel complexe (poids des grands trois ministères techniques MOC, MITI et MOT²⁸). Les prérogatives du MOE sont essentiellement politiques. Pour simplifier, il a en charge la préparation des réglementations (notamment les émissions polluantes par les véhicules), les autres ministères techniques assumant leur mise en œuvre au niveau de chaque secteur (par ex. la recherche sur les moteurs propres). Les liens entre planification des transports et politiques environnementales ne sont pas évidents à établir au Japon. Si la pratique des schémas directeurs de transports est répandue, il n'existe aucune démarche comparable au couplage loi sur l'air / PDU comme ce fut le cas en France²⁹. Le MOE joue un rôle marginal dans la recherche en modélisation touchant au croisement transport / environnement (le ministère dispose d'une procédure de subvention aux universités, mais le transport n'est pas concerné). Dans les années 90, le programme de recherche « Global

²⁸ Ex Ministère de la Construction, Ministère de l'Industrie et du Commerce International, Ministère des Transports

²⁹ Notons que c'est essentiellement à travers les problèmes de pollution atmosphérique que la question environnementale s'est manifestée au Japon, dans les années 60 (premières réglementations sur les émissions de monoxyde de carbone). Il existe d'ailleurs une loi pour la prévention des pollutions atmosphériques.

Environment Research Program », financé par l'Agence de l'Environnement et coordonné par le NIES, comprenait quelques volets relatifs aux interactions entre circulation et pollutions atmosphériques, mais apparemment assez discrets. Le NIES s'intéresse aux pollutions du trafic et coopère avec l'AIST sur la question. Par ailleurs, à la fin des années 90, l'Agence de l'Environnement a suscité un groupe de travail composé d'économistes des universités de Tokyo, Kyoto, Chuo et Waseda sur les instruments fiscaux (taxes environnementales sur l'automobile), le trafic et les objectifs environnementaux³⁰.

3. Ministère de l'Economie, du Commerce et de l'Industrie (METI). L'ancien MITI, qui a financé par ailleurs d'énormes programmes scientifiques et technologiques audacieux comme NEW SUNSHINE ou ECO ENERGY CITY PROJECT (Baye, Rigaud, 2001), est absent de la recherche sur la planification des transports. C'est largement sous son impulsion que sont développées les recherches publiques relatives aux rapport environnement / énergie, en particulier les utilisations de la pile à combustible et plus largement celles de l'hydrogène en substitution du pétrole et de l'énergie nucléaire, dans les transports comme dans l'ensemble des secteurs. C'est aussi le MITI (avant 2001) qui a financé le programme de recherche industriel Japan Clean Air Program à la fin des années 90, dont une composante était spécialement dédiée aux émissions dues au trafic. C'est enfin et surtout grâce au METI que fonctionne l'AIST – dont les finalités sont rappelons-le industrielles - dont on a vu plus haut l'implication dans le domaine de la modélisation atmosphérique.

4. Ministère de l'Aménagement du Territoire, des infrastructures et des Transports (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, ou MLIT) Il résulte de la fusion en 2001 de deux puissants ministères techniques (parfois rivaux) - le Ministère de la Construction (en particulier compétences routières et autoroutières, planification des transports urbains) et le Ministère des Transports (en particulier compétences transports publics et ferroviaires) – et de l'agence de l'Aménagement du Territoire. Au sien du MLIT, trois directions sont directement concernées par l'évolution des outils de modélisation dans les transport:

- 1) Le Road Bureau
- 2) Le Railways Bureau
- 3) L'Urban Bureau (bureau des affaires urbaines, qui couvre les transports urbains)

Le MLIT encadre notamment les dispositifs de planification des transports, urbains ou nationaux : il élabore directement les schémas directeurs (plan national de transport à 20 ans par ex., le dernier datant de 2000), et arrête les méthodologies officielles d'études d'impacts environnementales. Le ministère coordonne la production régulière de données sur les déplacements réalisées à partir d'un dispositif de capteurs (tous les cinq ans pour le réseau national), et d'enquêtes décennales sur les déplacements dans les villes de plus de 300 000 h.), qui jouent un rôle essentiel dans la dynamique

³⁰ <http://www.env.go.jp/en/rep/aret/index.html>. Un autre groupe de travail portait sur les instruments économiques de la politique environnementale mais ne comprenait aucun spécialiste des transports.

de recherche. Le MLIT est souvent partie prenante dans les multiples comités techniques d'intérêt national ou des associations ad hoc, chargés de conduire des expérimentations locales et d'envisager les développements opérationnels qui en découlent, comme SMART CRUISE 21 soutenu par le MOC et le MOT avant 2001³¹. A cet égard, il suit attentivement les évolutions de la modélisation, mobilisant le monde de la recherche et du conseil (par ex. les groupes de travail sur la prévision de la demande de transport, sur l'introduction des modèles d'équilibre d'assignation pour l'évaluation des projets avec les Professeurs Ohta et Kitamura et les bureaux d'études IBS et Pacific Consultants). Toutefois, le MLIT ne mobilise pas de moyens financiers d'envergure pour stimuler les travaux de modélisation des laboratoires, en dehors du PWRI et du NTSL (cf. infra). Toutefois le ministère peut soutenir financièrement des expérimentations impliquant certains d'entre eux, comme par exemple le laboratoire du Professeur Aoyama de l'Université de Kyodai (application de modèles de simulation à Kyoto) dans le cadre la promotion des transports publics.

b) Les collectivités locales

Elles regroupent, pour simplifier, les régions, les villes (shi), les préfectures (*ken*, plus comparables à nos départements français) et Tokyo, dirigé, à l'instar de ces dernières, par un gouverneur élu).

Généralement les collectivités, même certaines des plus grandes, n'ont pas de compétences pointues en modélisation en régie. Pour l'élaboration de modèle, elles font le plus souvent appel à des consultants spécialisés, voire aux universités. En revanche, il leur arrive de participer, quoique de manière modeste, au financement local d'expérimentations de résultats de recherche susceptibles de contenir un volet modélisation (introduction des NTIC et simulation du trafic). Certaines préfectures (Kanagawa, Chiba, ...) et Tokyo disposent de centres de recherche spécialisées sur l'environnement, mais le lien entre leurs activités et la modélisation transport n'a pas été établi.

3. Les associations / instituts académiques et techniques à vocation (inter)professionnelles

Ces organismes ont une fonction beaucoup plus intermédiaires par rapport à l'offre et à la demande : elles rassemblent à la fois des acteurs de l'une et de l'autre. L'une de leur fonction sociale est très largement de « formater » l'application des résultats de la recherche, sur demande ou en accord avec les administrations centrales, et de donner le plus grand retentissement possible aux travaux innovants grâce aux publications et à l'organisation d'événements. Ils assument donc un rôle de mise en commun de l'innovation et d'animation du débat scientifique qui confère un caractère relativement collectif à l'innovation au Japon, et dans la plupart des domaines. Sur leurs curriculum vitae, et en vue d'asseoir leur « honorabilité » les universitaires japonais n'omettent jamais de rappeler leurs

³¹ Projet conduit dans le cadre de l'AHSRA (Advanced Cruise-Assist Highway System Research Association) autour de l'introduction de systèmes électroniques de péage et de systèmes d'interactions véhicules / sols et véhicules / véhicules dans une perspective de sécurité routière (cf. Baye E., Rigaud M., op cit.).

affiliations aux différentes associations ou *sociétés*, et le rôle actif qu'ils peuvent y jouer. Malheureusement, beaucoup d'entre elles publient encore peu d'informations détaillées en anglais sur Internet.

L'Institute for Transport Policy Studies (ITPS) est à la fois un organisme de recherche appliquée en lien direct avec les politiques de transports (régulation, économie,...), de conseil aux pouvoirs publics et de promotion / valorisation de la recherche dans une perspective d'échanges entre chercheurs et professionnels – parfois en relation avec d'autres pays (notamment l'Allemagne). L'ITPS n'est pas directement acteur de la recherche en modélisation. Toutefois, dans le cadre de projets d'infrastructures suffisamment importants ou liés à la politique générale de transport, l'institut est appelé par les pouvoirs publics à structurer des comités de réflexion associant, entre autres, des universitaires. Citons par exemple le comité chargé d'établir les lignes directrices pour l'évaluation des projets d'investissements routiers (celui-ci s'appuie d'ailleurs sur les recommandations du manuel pour l'amélioration des routes [1989] de la Japan Road Association). Ces comités sont en mesure de produire des spécifications pour la réalisation en aval de modèles par les bureaux d'études dans le cadre des projets concernés. Le lien environnement transport est l'un des quatre axes de recherche principaux de l'ITPS³², mais la modélisation n'est pas mentionnée parmi les thématiques.

La Japan Society of Civil Engineers (JSCE), fondée en 1879, rassemble 40 000 membres (personnes morales et physiques), en particulier des représentants des milieux de la recherche, du conseil, de l'administration et des secteurs industriels couverts (transports, hydraulique, environnement, construction d'ouvrages d'art,...). Ses comités techniques fédèrent des groupes thématiques qui élaborent des recommandations, suivies en général par le monde professionnel, et de propositions qui pourront ensuite être éventuellement retenues comme une prescription par le MLIT (par ex. en matière d'évaluation de projets ou de développement des approches désagrégées de la modélisation). Les transports et la modélisation relèvent du Comité Planification des Infrastructures³³ (qui ne comprend aucun groupe de travail spécifiquement dédié à la modélisation des transports / environnement ; il existe par ailleurs un Comité Ingénierie Environnementale). Un groupe de travail interne s'intéresse aux comportements en matière de déplacements, un autre au développement des modèles désagrégés au Japon. La JSCE élabore des manuels relatifs à l'utilisation des modèles afin d'en faciliter l'appropriation par les professionnels de la modélisation et par la maîtrise d'ouvrage. Elle publie différentes revues, en particulier le *Journal of Civil Engineering* et surtout le *Journal of Infrastructure Planning and Management* dans lesquels on trouve des articles sur la modélisation. Sa revue environnementale, le *Journal of Global Environmental Engineering* ne paraît pas s'intéresser aux outils de planification des transports en lien avec l'environnement.

³² En l'occurrence : évaluation économique des réglementations sur les déséconomies externes liées à l'usage de l'automobile, analyse des effets des taxes automobiles sur les émissions de CO₂, diagnostics informatisés et prescriptions d'experts sur la situation trafic environnement dans les métropoles des PED, méthodologies et applications des évaluations monétaires des bénéfices non marchands. *Source* : plaquette de l'Institut.

³³ En particulier les sous comités Analyse des Transports (demande, génération, assignation, choix d'itinéraires, etc.), Planification des Infrastructures de Transport, Gestion et Exploitation du Trafic. Voir <http://jsce.or.jp/committee/>

L'Eastern Asia Society for Transportation Studies (EASTS) fédère différentes associations asiatiques de transport. Elle est basée à Tokyo et représentée au Japon par l'Association for Planning and Transportation Studies³⁴. Sa vocation est de promouvoir et stimuler (financièrement notamment) la recherche dans les transports dans les pays d'Extrême-Orient. Elle est très largement soutenue par le Japon et les chercheurs japonais y jouent un rôle central (elle est d'ailleurs qualifiée de société académique). Retenons ici l'importance de l'outil de publication de l'EASTS, le *Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies* (en anglais...), dans la valorisation des recherches. Toutefois, la revue des articles parus ces dernières années ne révèle pas une préoccupation marquée pour le croisement / transport environnement dans la modélisation.

La Japan Transport Planning Association. Peu d'informations ont été trouvées sur cette association, au demeurant peu citée lors des entretiens avec les universitaires et dépourvue de site web. Elle paraît s'impliquer très en aval sur la diffusion des méthodes de modélisation, par exemple en partenariat avec la JICA à destination de professionnels étrangers.

La Japan Transport Cooperation Association. Son rôle est avant tout de promouvoir le rôle des consultants transports japonais à l'international, en lien avec les pouvoirs publics et les industriels du secteur. Elle promeut entre autre, mais essentiellement dans cette perspective, la réflexion sur le lien transport / nuisances atmosphériques et sur la planification des transports en général, mais son incidence sur la recherche en modélisation au Japon paraît marginal.

La Japan Society of Transportation Economics, qui publie le *Journal of Japan Society of Transportation Economics*, et dont les activités sont orientées vers des réflexions sur l'économie du secteur (péage, dérégulation, privatisations, etc.). Son président est le Professeur Sugiyama Masahiro, de l'Université de Waseda.

Pour mémoire, mentionnons ici d'autres associations dont les activités touchent plus ou moins directement aux transports mais (sauf peut-être la première et la seconde) peu impliquées dans le champ de la modélisation transport environnement :

- la Japan Society of Traffic Engineering (travail de comparaison de modèles de simulation de trafic, groupe de travail sur les modèles de prévision du trafic)
- la Japan Road Association (guides techniques pour la conception et la construction),
- le City Planning Institute et sa revue *City Planning Review*, qui publie parfois des articles sur les modèles croisant transport et aménagement.
- l'Accoustical Society of Japan (modèle ASJ, et sa revue le *Journal of Accoustical Society of Japan*)
- la Japan Traffic Management Association (site web en japonais seulement),

³⁴ Apparemment (aucun site web identifié), cette dernière association représente surtout EASTS au Japon.

- la Japan Environmental Management Association for Industry (mesures de pollution, labélisation,...),
- la Japan Traffic Safety Association, la Japan Transport Association (dépend du MLIT, surtout orientée vers le grand public/les usagers).
- la Japanese Geotechnical Society
- l'Institute of Noise Control Engineering / Japan
-

III. Lien transport / environnement dans les priorités de la politique de transport

L'Etat Japonais encourage traditionnellement la construction d'infrastructures. Si la rareté de l'espace approprié et la forte densité du réseau limitent aujourd'hui les extensions du réseau routier, elles justifient au contraire l'entreprise de multiples opérations d'amélioration des équipements : tunnels, ponts, contournements, etc.³⁵. A la réponse aux besoins s'ajoute une rationalité où les intérêts économiques de plusieurs secteurs (travaux publics, automobile, télécommunications et ingénierie) s'associent à une logique de financements des partis politiques. En outre, le MLIT, comme auparavant le MOC, nourrit depuis longtemps une culture très favorable à l'expansion des infrastructures comme moyen de répondre aux enjeux mais aussi, soit dit en passant, d'assurer son pouvoir.

La question environnementale est affichée comme une priorité de la politique de transport, eu égard notamment à la contrainte morale que représente, plus que dans d'autres pays, le Protocole de Kyoto³⁶. Le pays subit fouet les effets des pollutions atmosphériques provenant de Chine du Nord et, concernant les transports, ceux induits par sa topographie et la densité de son réseau. Proposons ici une brève description de cet affichage et l'interprétation que l'on peut en faire à partir d'un document de synthèse particulièrement clair et traduit en anglais, publié par le Japan Research Center for Transport Policy³⁷ : *Transport Policy in Perspective* : 2004.

Les plans Quinquennaux de Développement des Routes, le Plan d'Améliorations Prioritaires des Infrastructures Sociales (2003-2007) conduisent aujourd'hui à insister sur la meilleure utilisation du réseau existant, mais également à mieux articuler préoccupations environnementales et projets d'une part, exploitation du réseau d'autre part. Retenons en particulier les priorités suivantes.

- La gestion de la demande de déplacements (Transport Demand Management), concept englobant qui justifie la poursuite d'efforts de recherche dans les domaines de l'ITS, l'amélioration du réseau routier, le report modal sur les transports publics et le péage routier, mais aussi en matière

³⁵ Cf. Road Public Relations Center: *Michi Roads in Japan 2002*, 172 p.

³⁶ Le Japon a révisé en 1993 sa loi fondamentale environnementale (Basic Environmental Law de 1967). S'y ajoutent des lois spécifiques de prévention de la pollution de l'air, pour le contrôle des nuisances sonores et des vibrations. 1993 a aussi été une première occasion de réviser la méthodologie d'évaluation des impacts environnementaux des projets routiers, la seconde ayant été la loi sur les impacts environnementaux des projets, de 1999.

³⁷ Japan Research Center for Transport Policy³⁷ : *Transport Policy in Perspective* : 2004, Octobre 2004.

d'analyse de la congestion d'une part, des comportements de déplacements d'autre part. Le Japon considère la gestion par la demande comme le cadre et le moyen privilégiés pour atteindre,

- L'amélioration des méthodologies d'évaluation des impacts environnementaux, en particulier dans le cadre des procédures relatives à la conduite de projets routiers.
- La lutte contre les nuisances sonores liées au trafic, en particulier sur les sections autoroutières urbaines, et dans une moindre mesure interurbaines. Les réponses envisagées sont largement techniques (nouveaux types de barrières anti-bruits, zones tampons environnementales (vertes), revêtements).
- La réduction des pollutions atmosphériques, en particulier les émissions de dioxyde de soufre, soit par des mesures « politiques » qui interpellent probablement directement la modélisation (comme l'amélioration de la fluidité du trafic, elle-même composante de la gestion de la demande de déplacements), soit par l'innovation (décontamination atmosphérique par techniques de remblais, ou photocatalytiques).
- Prévention du réchauffement par la diminution des émissions de CO₂ (21% d'entre elles sont dues aux transports, dont 90% aux véhicules motorisés) : report modal en matière de fret (route/maritime + ferroviaire), nouveaux véhicules, gestion de la demande, ...

Les orientations de politiques ont un lien financier très indirect avec la dynamique de recherche en modélisation, hormis les travaux des instituts de recherche d'Etat (cf. supra). Cela étant, les universitaires, souvent investis de responsabilités au sein de comités techniques mobilisés par l'administration ou par des organismes professionnels, ne peuvent pas a priori rester complètement insensibles à ces orientations, comme semble le montrer l'intérêt des laboratoires pour les travaux sur la congestion (cf. infra).

IV. Recherches en modélisation des transports et orientations/perspectives en lien avec les préoccupations environnementales

1. L'attrait de la recherche en modélisation des transports

On l'a vu plus haut, la dynamique de recherche ne se limite pas aux seules universités. Conformément à notre proposition initiale, et compte tenu des moyens disponibles, ces dernières ont concentré l'essentiel de nos investigations. Il en découle évidemment un biais, même si on a essayé de le compenser en partie par une revue minimale de l'activité des instituts de recherche publics nationaux (cf. supra).

L'université japonaise traditionnelle est souvent critiquée par les Japonais eux-mêmes comme trop subordonnée à des règles de fonctionnement mandarinales qui nuisent à l'esprit d'innovation. A cet égard, le dynamisme des centres de recherche parapublics et industriels peut s'expliquer par un manque de performance scientifique des universités en matière de recherche appliquée au moins. La modélisation des transports, cependant, est une discipline relativement neuve, surtout compte tenu de la révolution qu'ont induit l'accroissement de la capacité de calcul des ordinateurs d'une part, l'apparition de nouvelles technologies du trafic d'autre part. L'âge moyen des professeurs les plus en vue au Japon est plutôt moyen, 35 45 ans, et l'influence culturelle anglo-saxonne est importante (cf. infra). Pour la modélisation des transports en tous cas, il y a certes lieu de réviser le cliché d'une recherche universitaire japonaise rigidifiée par la culture confucéenne des relations hiérarchiques.

Le professeur Ohta Katsutoshi, l'une des grandes figures actuelles de la modélisation au Japon, estime que les universités japonaises comptent actuellement de 200 à 300 professeurs et professeurs associés plus ou moins investis sur le champ de la modélisation des transports³⁸. Ce chiffre paraît considérable si on le compare à la soixantaine de spécialistes dénombrés en France, tous établissements confondus (Baye, Blancher et alii, 2002), même si l'on monte ce chiffre à la centaine, pour n'oublier personne. Il n'inclut ni les chercheurs des instituts de recherche publics, ni ceux du monde industriel et de l'ingénierie.

La modélisation des transports n'a manifestement pas souffert au Japon d'un manque de vocations. Il existe aujourd'hui des mouvements d'opposition aux projets de transports qui questionnent les outils utilisés, mais la tendance ne paraît pas remettre en cause les dynamiques de recherche. Celle-ci se porte bien.

La modélisation vise souvent le court terme, voire le très court terme, et les chercheurs se définissent souvent autant comme des spécialistes de planification que d'ingénierie du trafic. Les grandes équipes de spécialistes se concentrent dans quelques universités, et ce sont d'elles que sont généralement issus les chercheurs qui « essaient » dans les autres établissements.

2. Revue des experts

Celle-ci s'est dans un premier temps fondée sur les entretiens conduits au Japon, ceux-ci ayant ensuite permis de donner des directions aux recherches sur Internet, notamment les CV de chercheurs et les présentations de laboratoires³⁹. Le tableau qui en résume les résultats (cf. annexe) rend compte des champs de recherche des experts identifiés comme « modélisateurs des transports et de la circulation ». L'interprétation doit rester prudente. Les thématiques sont parfois assez disparates, ou leur traduction simplifiée et les libellés disponibles en anglais finalement parfois peu explicites. Par ailleurs, les publications sont en général collectives (plus de trois auteurs est fréquent), et il est impossible d'identifier les apports de chacun. Enfin, et surtout, les thématiques sont souvent

³⁸ Source : entretien

³⁹ Voir, entre autres sources, le fichier de la JST http://read.jst.go.jp/ddbs/plsql/KNKY_EG_24?code=1000252769
Celui-ci ne liste pas certains chercheurs, pourtant à forte notoriétés nationale et internationale.

extrêmement techniques et l'interprétation du contenu des travaux s'expose certainement parfois à l'approximation.

Ce tableau répertorie des chercheurs toujours en poste. Il ne prétend pas à l'exhaustivité, mais pointe au moins l'essentiel des universités concernées. Les thématiques identifiées sont les plus récentes, en gros dix ans au grand maximum.

Au final, on a répertorié ici 62 chercheurs, essentiellement professeurs et professeurs associés, et 30 établissements. Les chercheurs sont éparpillés dans de nombreux établissements (et donc plus de départements), certains d'entre eux faisant figure de pôles d'excellence :

- Tokyo University
- Tokyo Institute of Technology
- Kyoto University
- Nagoya University
- Tohoku University (Sendai)

Sans surprise, les régions du Kanto et du Kansai concentrent l'essentiel des institutions repérées, mais il n'est pas possible de mettre en évidence de quelconques spécialités locales en matière de recherche sur les transports terrestres (sauf le trafic en milieu enneigé à Hokkaido).

27 spécialistes de la modélisation des transports incluent le lien transport environnement parmi leurs thèmes de recherche. Ce chiffre appelle trois observations :

- Par souci de synthèse, le mode de sélection des informations retenues dans le tableau n'a pris en compte que les thématiques estimées toucher directement à la modélisation. Plus globalement, il est impossible de savoir quelle proportion représente la modélisation dans l'ensemble des travaux conduits par chaque chercheur.

- Le lien transport / environnement concerne parfois les pays étrangers, notamment asiatiques, ou est abordé plutôt à travers des aspects politiques et réglementaires. La modélisation n'est donc pas forcément au cœur de l'analyse.

- De nombreuses références touchant à l'évidence au lien transport / environnement, datent de cinq à dix ans. Manifestement, si les années 90, voire les années 80, ont pu être propices à ce type de recherches (voir l'apparition du modèle DRONE par ex.), il n'en va plus ainsi dans les années 2000. D'ailleurs, plusieurs chercheurs, précisément spécialisés sur la modélisation trafic / pollution atmosphérique par exemple, ne sont plus au Japon (cf. infra).

Les résultats obtenus permettent de distinguer cinq grands champs de recherche :

- Les modèles de simulation, notamment en lien avec les applications technologiques (NTIC)
- Les modèles croisant transports et aménagement, qui se heurtent cependant au problème des données (informations sur les prix des terrains difficiles à obtenir)
- Les modèles d'équilibre global offre / demande de transport

- Les modèles de comportement des usagers
- Les modèles croisant transports et environnement

A partir des éléments disponibles, on peut essayer d'effectuer un regroupement thématique des 27 chercheurs identifiés dans le champ modélisation transport / environnement. Cet exercice peut paraître extrêmement audacieux compte tenu des barrières linguistiques et techniques, des effets de doublons et du caractère très approximatif de la compréhension des informations disponibles. Cela étant, et sans tomber dans le piège du *wishful thinking*, les résultats des recherches sur le Net sont corroborées ex ante par les entretiens conduits au Japon et semblent bien rendre compte des logiques de recherche à l'œuvre.

Tableau : Répartition des thématiques de recherche en modélisation des transports dans les universités japonaises

Thématiques	Nombre de chercheurs
Mobilité et environnement en général	2
Préférences environnementales des usagers	3
Lien économique transport / environnement en général	4
Relations fiscalité / émissions de polluants	7
Consommation de carburant et émissions	3
Pollutions atmosphériques	1
Nuisances sonores	4
Impacts environnementaux du trafic (toutes nuisances)	1
Evaluation des biens environnementaux	1
Autres (approches générales transport / environnement)	1
Total	27

On note l'importance des travaux orientés vers des finalités économiques et politiques (de transport) d'une part, le poids apparemment faible des travaux à caractères très théoriques ou exploratoires (préférences environnementales par ex.), ou encore des travaux très appliqués au niveau des impacts (plutôt conduits par les instituts de recherche parapublics).

3.L'ouverture internationale

Les milieux universitaires japonais de la modélisation des transports sont relativement internationalisés. Comme en Europe de l'Ouest, la tradition est d'ailleurs à l'origine venue des Etats-Unis, de même que la planification des transports en général après guerre. Aujourd'hui, il faut cependant bien distinguer deux volets distincts de l'internationalisation du système de recherche japonais.

1) **La recherche japonaise et celle des pays de l'OCDE.** Les chercheurs japonais publient abondamment dans les grandes revues anglo-saxonnes, et les références en anglais sont pour

certaines d'entre eux courantes. Au demeurant, plusieurs sont membres du Transport Research Board, ou de la World Conference on Transport Research Society (WCTRS). Plusieurs d'entre eux ont séjourné à l'étranger :

- Morikawa Takayuki (Massachusetts Institute of Technology),
- Fujii Satoshi (Université de Göteborg),
- Yamamoto Toshiyuki (chercheur associé INRETS et Université de Washington),
- Kato Hirokazu (Université Technique de Darmstadt)
- Professeur Kitamura Riyuchi. (enseignant à l'Université Davis en Californie).
- Coopérations entre le Prof. Kuwahara et l'EPFL sur le modèle DRONE (trafic / bruit).
- ...

Les publications conjointes avec des laboratoires étrangers sont régulières, de même que les publications collectives dirigées par des Japonais : outre des articles (Morikawa / Ben Akiva, Fujii / Gärlin, (Kuwahara/Chung/Bhaskar [modèle DRONE],...ainsi les ouvrages sur le lien transport aménagement coordonnés par le Professeur Hiyashi dans le cadre des activités de l'ISGLUTI⁴⁰, ou encore le rôle important joué par le Professeur Nakamura dans la publication par la WCTRS de l'ouvrage sur les transports urbains et l'environnement (il est vrai co-édité par la WCTRS et l'Institute of Transport Policy, organisation japonaise)⁴¹.

On notera que, dans le cadre de l'exposition internationale de Nagoya, le Japon a précisément organisé en août dernier une rencontre internationale sur le lien entre transport environnement, mais à vocation trop généraliste pour que la modélisation y tienne une place explicite⁴².

2) **Les relations aux pays émergents d'Asie.** Le Japon est préoccupé par les nuisances environnementales liées au développement de la motorisation en Asie de l'Est, d'une part parce qu'il en souffre directement, d'autre part parce que cet intérêt nourrit sa politique de coopération : la JICA, l'agence de coopération technique, finance en effet de nombreux schémas directeurs de transport (par ex. celui de Ho Chi Minh Ville avec le projet HOUTRANS) et la banque de développement japonaise, la JBIC, finance des projets de TCSP qui intéressent directement l'industrie japonaise, sans parler du marché des technologies propres pour les véhicules. En terme de valorisation de la recherche, on a mentionné plus haut l'importance de l'activité de l'EASTS⁴³ : à cet égard, la revue de l'association reste un vecteur prisé par les chercheurs japonais. Certains (les Professeurs Hayashi et Fujiwara par exemple) affichent parfois plusieurs références touchant au lien transport / environnement dans les villes asiatiques, comme Bangkok ou Manille. En outre, les équipes nippones de modélisation des transports accueillent traditionnellement de nombreux chercheurs asiatiques, notamment chinois, thaïlandais et bengladeshis... A cet égard, un exemple intéressant par rapport à nos interprétations (cf. infra) est celui de Mohammed Masud Karim, devenu à la fin des années 90 l'un des spécialistes

⁴⁰ International Study Group on Land-Use / Transportation Interaction.

⁴¹ WCTRS, ITS (Eds.) Urban Transport and Environment, 2004.

⁴² Voir http://www.ics-inc.co.jp/e-car/r_table_e.html

On note la présence de A. May (Institute of Transport, Leeds University), des professeurs Hayashi Yoshitsugu (Nagoya University) et Ohta Katsutoshi (Toyo University) ainsi que du spécialiste des pollutions dues au trafic, le professeur Yashigita Masaharu (université de Sophia).

⁴³ Différentes associations de recherche de plusieurs pays (Chine, Thaïlande, Hong Kong, Malaisie,...) sur les transports sont membres de l'EASTS. Voir le site de l'association : <http://www.east.info>

de la modélisation de la concentration/dispersion des polluants dues au trafic au sein du Département d'Architecture, d'Ingénierie Urbaine et Civile du Nagoya Institute of Technology⁴⁴. Deux autres chercheurs étrangers, Ashish Bhaskar [EPFL] et Edward Chung, de l'université de Tokyo (Institute of Industrial Sciences), ont travaillé sur l'intégration des modèles ASJ et AVENUE. Enfin des spécialistes japonais du lien transport environnement sont actuellement en poste dans des instituts localisés dans des pays de la zone, comme l'Asian Institute of Technology (Bangkok) : citons Hanaoka Shinja, formé à l'université de Tohoku (région de Sendai) et Aramaki Toshiya (en partie sur la thématique pollution atmosphérique transport, issus du département d'ingénierie urbaine de l'Université de Tokyo).

4. Interprétations conclusives

La recherche en modélisation des transports est très active au Japon et en interaction forte avec les milieux internationaux, notamment anglo-saxons, mais également asiatiques. Le traitement de la dimension environnementale par la modélisation dans le milieu de la planification et de l'ingénierie des transports semble cependant avoir souffert d'un certain fléchissement depuis les années 90, au profit du développement des approches par la demande et les comportements des usagers, de l'interaction transport /aménagement, au profit surtout de la prise en compte des nouvelles technologies du trafic et des modèles de simulation. La problématique environnementale reste toujours importante, mais pas nécessairement abordée dans le cadre de la modélisation – sauf peut être sous ses aspects économiques (fiscalité). Elle est plutôt abordée de manière politique, ou très régionale et macro-économique par les universitaires. On peut proposer à ce stade une interprétation de la situation japonaise :

- Les crédits publics de recherche sont peu orientés vers le financement de la modélisation transport environnement. Si l'on admet que les années 80 ont été propices à ce type de recherches et que les personnes rencontrées n'ont jamais paru se craindre de manque de crédits pour conduire leurs travaux, il faut en conclure que les préoccupations du monde scientifique se sont modifiées en faveur d'autres champs de développement de la modélisation. Force est d'ailleurs de reconnaître que les entretiens n'ont pas reflété d'attentes particulières des laboratoires à l'égard de la modélisation croisant transports et environnement. Les outils de base répondent apparemment aux besoins et l'intérêt se porte davantage sur de "nouveaux" paradigmes, par exemple la place des valeurs environnementales dans les choix individuels.
- L'attitude « sociale » à l'égard de la modélisation est peut être en train de changer, même s'il faut bien avouer qu'aucune crainte n'a été exprimée à cet égard par les chercheurs. Les techniques quantitatives et mono-disciplinaires ont toujours rencontré dans l'administration centrale un écho favorable, au détriment des approches qualitatives, ou plus généralistes. Cette époque est peut être en train de changer, du fait des nouvelles pressions exercées par le gouvernement Koizumi sur une technocratie critiquée pour son esprit de chapelle et l'opacité de ses décisions, du fait des mesures de réduction/réallocation des dépenses publiques, du fait aussi des évolutions des

⁴⁴ Devenu depuis consultant.

mentalités chez certains professeurs, plus ouverts aux approches qualitatives désormais (Shimizu T. à Tokyo, Aoyama Y. à Kyoto, voire aussi Higashi Y. à Nagoya). L'opinion publique japonaise change également, se montre plus critique à l'égard des projets et initiatives de la technocratie et les modèles sont parfois vus avec plus de scepticisme que naguère. La sophistication des modèles se heurte comme partout au problème de leur applicabilité, ou de leur coût – d'autant que le développement des logiciels dépend en partie du secteur privé. Les évolutions de l'université japonaise ne semblent pas devoir favoriser à l'avenir les travaux théoriques trop éloignés des attentes de la demande sociale : il n'est pas impossible que les travaux de modélisation se concentrent sur certains pôles à l'avenir : universités de Tokyo et Kyoto, Institut de Technologie de Tokyo et les Universités de Tohoku (localisée dans la ville de Sendai) et de Nagoya par exemple, cette dernière à l'évidence plus engagée sur le traitement de la thématique transport / environnement. Les acteurs les plus opérationnels de la modélisation aujourd'hui - instituts de recherche publics et industriels, certains bureaux d'études - continueront probablement eux aussi à jouer un rôle important dans cette dynamique de recherche.

- Le système de recherche le plus impliqué dans les travaux de modélisation opérationnelle sur l'interaction transport environnement s'appuie largement sur des instituts de recherche publics, comme le PWRI ou le NIES, voire industriels, qui échappent malheureusement en partie à la présente monographie. Ces organismes travaillent sur la base de modèles apparus depuis plusieurs années déjà, pas forcément au Japon, et leurs préoccupations sont, outre la modélisation en tant que telle, l'expérimentation des matériaux et des dispositifs (anti-bruits, revêtements, communication embarquée, etc.).
- Le Japon vit avec passion depuis deux décennies le développement des NTIC. Les systèmes industriels et l'administration se sont emparés de leur applicabilité au domaine des transports et elles sont vues souvent comme la solution aux problèmes de congestion, de sécurité, et indirectement de nuisances environnementales. Les approches par les comportements restent marginales par rapport à une tendance classique dans l'archipel à vouloir répondre à tout problème de société par la technologie. Ceci explique peut être le succès des travaux touchant à la simulation du trafic et à la prévision à très court terme comme complément de la mise en place de véritables systèmes de pilotage et de contrôle du trafic. Du reste, il est intéressant de noter que la distinction entre planification des transports et ingénierie du trafic ne paraît pas poser les mêmes problèmes de positionnement académique que dans d'autres pays. Les prévisions à long terme ne semblent plus susciter des recherches très importantes, comme si le vieillissement de la population et la diminution des déplacements induite, le renforcement de la densité urbaine devaient à terme apporter les réponses souhaitables à la question des nuisances actuelles dues au trafic. Peut-être considère-t-on aussi que les évolutions technologiques rendent par définition vain tout exercice raffiné de prévision à long terme : les outils existants suffisent bien...

Annexe 1 : Tableau des chercheurs (universitaires) japonais et la modélisation des transports

Universités, Laboratoires/Départements Chercheurs	Thématiques récentes identifiées
Chubu University, Dept. of Civil Engineering, College of Engineering Prof. Associé, Isobe Tomohiko	Modélisation transports et aménagement, demande de transport (programmes d'activités) comportements de déplacements
Chuo University, Faculty of Science and Engineering Kashima Shigeru (Professeur)	Taxes environnementales sur les automobiles et impacts (consommation, émissions CO2)
Ehime University (Matsuyama), Transport Study Unit Hato Eiji, Chercheur associé	Modélisation des choix d'itinéraires. Modèles de simulation (information sur le trafic), gestion du trafic et ITS.
Fukuyama University, Faculty of Engineering, Dept. of Information Processing Engineering Shimizu Hikaru (Professeur)	Contrôle du trafic. Algorithmes de guidage dynamique, évolution des temps de déplacement, flux de trafic et réseaux.
Hiroshima University, Graduate School for International Development Cooperation, Transportation Engineering Laboratory Fujiwara Akimasa (Professeur)	Modélisation du choix modal (modèle de choix discret, modèles de choix binaires, modèles de choix comportemental). Choix d'itinéraires et préférences environnementales. Modèle global d'aptitude à développer transport et préoccupations environnementales dans les PED
Hiroshima University, Graduate School for International Development Cooperation, Transportation Engineering Laboratory Professeur Associé, Zhang Junyi	Thèmes similaires à ceux du Prof. Fujiwara. Modélisation des comportements de déplacements. Modèles de programmes d'activité avec introduction de l'utilité du temps.
Hokkaido University, Graduate School of Engineering Prof. Associé, Hasebe Masaki	Modélisation des impacts sonores liés au trafic et en fonction des revêtements (coopérations avec PWRI)
Hokkaido College, Senshu University, Dept of Civil and Environmental Engineering Masuya Yuso (Professeur ?)	Capacité du réseau et demande de déplacements. Capacité des réseaux et situation de séisme. Transport /aménagement
Gifu University, Faculty of Civil Engineering Takamasa Akiyama (Professeur)	Modélisation du péage routier, Modèle de vie artificielle <i>artificial life model</i> appliqué à l'analyse des transports urbains. Simulation du trafic. Contrôle du trafic et logique floue. Analyse de la congestion.
Gifu University, Faculty of Civil Engineering	Mêmes thèmes que Professeur Takamasa

Okushima Masashi (Prof. Associé)	
Kobe University, Graduate School of Science and Technology Asakura Yano (Professor)	Modélisation des flux de trafic. Comportements de déplacements (utilisation des systèmes de communication mobiles), choix d'itinéraires. ITS et information sur le trafic.
Kobe University, Faculty of Mercantile Marine Sciences Akita Naoya (Prof. Associé)	Comportement de transports routiers et péages. Analyse des flux de containers.
Kochi University (Kami-gun, Kochi ken), Faculty of Engineering, Dept. of Infrastructure Systems Engineering Terabe Shintaro (Prof. Associé)	Modélisation des comportements de déplacements, en particulier en lien avec les revenus. Préférences environnementales, réglementation routière et déplacements automobiles. Report modal sur les transports publics. Péage et protection de l'environnement.
Kumamoto University, Dept. of Environmental Sciences, Human – Environmental Engineering Division Prof. Associé Kakimoto Ryuji	Théorie économique de l'évaluation des biens environnementaux, analyse des risques liés aux développements des infrastructures. Modèles transports / aménagement.
Kyoto University, Dept. of Urban Management Kitamura Ryuichi (Professeur)	Modèles dynamiques d'assignation ; couplage entre le micro-simulateur PCATS et le micro / méso – simulateur DEBNetS pour prévoir la demande de transport et pour évaluer l'efficacité à court terme des mesures de réduction du CO2 à Kyoto.
Kyoto University, Graduate School of Engineering, Depart. Of Urban Management, Planning System Analysis Laboratory Kobayashi Kiyoshi (Professeur)	Valeur du temps, transport et croissance économique, rationalité des comportements
Kyoto University, Graduate School of Engineering, Department of Urban Management Nakagawa Dai (Prof. Associé)	Modèles de simulation de transports urbains dans une perspective d'évaluation de politique de transports (péages, lignes TC,...) avec intégration des émissions de CO2 et des consommations de carburant. Analyses de la congestion après tremblements de terre (tests à Kyoto, Shizuoka, Osaka). Objectif : lier modèles de simulation du trafic et d'aménagement dans une perspective de configuration de villes compactes. Croisement entre mobilité, environnement et structure des villes.
Kyoto University, Graduate School of Engineering, Department of Urban Management Aoyama Yoshikata (Professeur)	Modèles croisant transports et aménagement, évaluation des impacts sur les villes des projets de transports publics urbains, et des lignes à grandes vitesses. Biens environnementaux et valeurs affectées, mobilité et environnement, influence du couple espace/temps sur la valeur des terrains, évaluation de

	projets de transports.
Kyoto University, Research Institute of Economy Sawa Takamitsu (Professeur)	Approches économiques et économétriques du lien transport environnement, en particulier dans une perspective de politique fiscale.
Kyushu Institute of Technology, Dept. of Civil Engineering, Division of Ground Design Engineering Watanabe Yoshinori (Professeur)	Ingénierie du trafic et contrôle des nuisances sonores. Modèle de déplacement des cyclistes, pollutions atmosphériques et trafic.
Kyushu Institute of Engineering, Dept. of Civil Engineering Teramachi Kenichi (Prof. Associé)	Nuisances sonores au démarrage, intégration de modèles de systèmes homme/machine dans l'appréciation des nuisances.
Maizuru National College, Dept. of Civil Engineering Professeur ?, Oka Shoji	Transport et usage du sol, données et représentations relatives. Utilisation de LANDSAT DATA à des fins d'analyse des impacts transports/ environnement.
Meijo University (Nagoya), Faculty of Urban Science, Dept. of Urban Sciences Wakabayashi Hiroshi (Professeur)	Sécurité du trafic, trafic en environnement de risque (séismes)
Meijo University (Nagoya), Faculty of Science and Technology, Dept. of Civil Engineering, Urban Planning Research Division Professeur Matsui Hiroshi	Demande de transports et prévision de la demande. Modèles d'assignation et d'équilibre, modèles d'affectation d'équilibre du temps journalier. Contrôle du trafic. Relation à l'environnement mais secondaire apparemment et modélisation incertaine.
Meijo University (Nagoya), Faculty of Science and Technology, Dept. of Transport Engineering Prof. Associé Matsumoto Yukimasa	Estimation de la demande de trafic, contrôle dynamique du trafic
Musashi Institute of Technology, Faculty of Environmental and Information Studies Kobayashi Yoshikuni (Professeur)	Planification des transports et politique croisant transport et environnement, mais lien avec la modélisation non établi.
Musashi Institute of Technology, Faculty of Engineering, Dept. of Civil Engineering Iwasaki Masato (Professeur)	Flux de trafic, comportement des usagers, trafic et sécurité.
Nagoya Institute of Technology, Graduate School of Engineering Yamamoto Koshi (Professeur)	Modélisation de la demande de transports en milieu urbain.
Nagoya Institute of Technology, Graduate School of Engineering	Modèle d'assignation dynamique (trafic autoroutier)

Fujita Motohiro (Prof. Associé)	
Nagoya University, Department of Civil Engineering Yamamoto Toshiyuki (Prof. Associé)	Modèles de comportement de transports, des choix d'itinéraires. Prisme espace temps (<i>time-space prism</i>), simulation du trafic, (en particulier autour de PCATS/DEBNetS avec Fujii S. et Kitamura R.). Modélisation des causes de dommages corporels.
Nagoya University, Dept. of Geotechnical and Environmental Engineering Okuda Takaaki (Prof. Associé)	Analyse d'équilibre général des impacts économiques et environnementaux de l'amélioration des transports inter régionaux (approches macros).
Nagoya University, Graduate School of Environmental Studies Hayashi Yoshitsugu (Professeur)	Modèles croisant transports et aménagement, modèles d'appréciation des impacts de taxes automobiles sur les émissions de CO2. Impact de projets de TCSP (report modal). Relations développement / transports en Asie, transports et villes durables.
Nagoya University, Graduate School of Environmental Studies Kato Hirokazu (Prof. Associé)	Analyse du cycle de vie des systèmes de transport urbains, fiscalité automobile et protection de l'environnement. Prévion de la propriété automobile et interaction entre croissance urbaine et motorisation.
Nagoya University, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University Transport and Environment Dynamics Morikawa Takayuki (Professeur)	Modélisation des choix individuels de déplacements. Evaluation des politiques de transport et interaction avec les évolutions technologiques (modèles : prévision de la demande, bénéfiques aux usagers). Mobilité et ITS. Création de l'éco-ville (promotion du concept des 3R « Reduce, Reuse, Recycle ») : développement de modèles d'évaluation d'éco efficacité et d'amélioration de la qualité de la vie.
Nihon University College of Sciences and Technology, Department of Transportation Engineering and Socio Technology; Non identifié	Non identifié
Okayama University, Department of Environmental and Civil Engineering Prof Takemiya Hirokazu	Prédiction et analyses des effets vibratoires liés au trafic, notamment ferroviaire.
Okayama University, Faculty of Environmental Sciences and Technology, Dept. of Environmental and Civil Engineering Taniguchi Mamoru, Prof. Associé	Demande de transport et infrastructures en milieu urbain. Transports et planification urbaine
Osaka Institute of Technology, Dept. of Urban and Civil Engineering	Application de la logique fuzzy à l'analyse de la mise en oeuvre de l'AHS (système d'assistance à la conduite sur autoroutes.

Muto Shinichi (Prof. Associé)	Analyse économique de la relation transport environnement.
Ritsumeikan University (Kusatsu, Shiga ken), Civil and Environmental Systems Engineering, Faculty of Science and Engineering Prof Makigami Yasuji	«Merging Traffic Simulation Model» visant à évaluer l'efficacité de mesure de gestion du trafic pour éviter la congestion en milieu urbain.
Saitama University, Department of Electrical and Electronic System Prof. Hasegawa Takaaki	Spécialiste de l'adaptation des NTIC au trafic. Travaux sur des modèles d'estimation de consommation de carburant et d'émission dans un environnement de liaisons entre véhicules.
Saitama University, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Design & Planning Laboratory, Urban Transportation Group Prof. associé Sakamoto Kunihiro	Stationnement, flux de trafic, modèles de simulation (transports publics,...).
Saitama University, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Design & Planning Laboratory, Urban Transportation Group Prof. Kubota Hisashi	Modèles d'assignation du trafic, études d'impacts sur le trafic, simulation microscopique du trafic en lien avec l'aménagement en milieu urbain
Tohoku University (Sendai), Civil Engineering Dept. Prof. Associé Akamatsu Takashi	Méthodes d'assignation dynamique du trafic, analyse d'équilibre des modèles d'économie spatiale, décisions inter-temporelles sous incertitudes
Tohoku University (Sendai), Civil Engineering Dept. Graduate School of Economics and Management Prof. Associé Hayashiyama Yasuhisa	Analyse économique des projets d'infrastructures.
Tohoku University (Sendai), Civil Engineering Dept. Regional and Urban Planning Laboratory Morisugi Hisayoshi (Professeur)	Analyse coûts/avantages des projets de transport, méthodologies d'évaluation économique des projets. Aménagement et projets de transport. Transports et émissions, coûts environnementaux et mesures fiscales sur les émissions de CO2, mesure des dommages à l'environnement dus aux transports (mais années 80 et 90).
Tohoku University, Civil Engineering Dept., Regional and Urban Planning Laboratory Kono Tatsuhito (Prof. Associé)	Analyse coûts avantages des projets de transport. Valeur du temps et congestion. Aménagement et transports.
Tokyo Institute of Technology, Dept. of Built Environment Fukuda Daisuke (Prof. Associé)	Approche micro-économétrique des comportements de déplacements

Tokyo Institute of Technology, Department of Built Environment Yai Tetsuo (Professeur)	Demande de déplacement et micro-simulation croisée (par ex. à partir de PARAMICS et de modèles microscopiques d'émissions de CO ₂) avec les perspectives environnementales ; Comportement de déplacements
Tokyo Institute of Technology, Dept. of Civil Engineering Fujii Satoshi (Prof. Associé)	Psychosociologie des comportements de déplacements (urbains à l'origine mais interurbains de plus en plus) et analyse du dilemme social (conflit intérêt collectif / individuel) dans la demande de transport ; approches basées sur les activités (quotidiennes) ; couplage entre le micro-simulateur PCATS et le micro / méso – simulateur DEBNetS pour prévoir la demande de transport et pour évaluer l'efficacité à court terme des mesures de réduction du CO ₂ à Kyoto ; modèles désagrégés de simulation des déplacements (Ph D)
Tokyo Institute of Technology, Dept. of Civil Engineering Ueda Takayuki	Analyse économique des projets d'infrastructures. Mesures monétaires des effets externes (bruits, vibrations) dues au trafic.
Tokyo University, Center for Collaborative Research Chung Edward (Professeur)	Evaluation des politiques de réduction des nuisances sonores dues au trafic urbain. Travail avec le Prof. Kuwahara sur le modèle DRONE.
Tokyo University, Department of Geosystem Engineering Yoshida Yoshikuni	Modélisation coûts/avantages en fonction des types de carburants utilisés par les véhicules sur les émissions de CO ₂ au Japon
Tokyo University, Dept. of Civil Engineering, Transport Research and Planning Laboratory Kato Hironori (Prof. Associé)	Transports et économie de la valeur du temps des déplacements, modélisation économique et transports ferroviaires en milieu urbain. Elasticité des prix de la demande de transport ferroviaire. Modèles de prévision de la demande à long terme. Planification et économie des transports ferroviaires en général.
Tokyo University, Institute of Industrial Sciences Kuwahara Masao (Professeur)	Modèle de Simulation du trafic SOUND (échelle régionale urbaine, milieu années 90). Modèles de simulation de trafic urbain AVENUE (microscopique, 1994 et 1996). Intégration du modèle de prédiction des nuisances sonores liées au trafic routier ASJ et de AVENUE (années 2000) avec le modèle DRONE : Coopération avec le prof. E. Chung et EPFL.
Tokyo University, School of Engineering, Dept. of Urban Engineering; Prof Harata Noboru	Modélisation de la demande à partir de l'approche désagrégée, tous modes. Travaux sur le modèle d'équilibre de réseau et évaluation des politiques de péage routier avec Maruyama T.
Tokyo University, School of Engineering, Dept. of Urban Engineering	Modèle d'équilibre de réseau, comme alternative au modèle à quatre étape pour la planification des déplacements

Prof associé Maruyama Takuya	
Tokyo University, Dept. of Civil Engineering, Transportation Research and Infrastructure Planning Laboratory Shimizu Tetsuo, Prof. Associé	ITS et analyse microscopique (y compris accidents). Préviation de la demande, comportements de déplacements, collectes de données (pays en développement). Aménagement et régénération urbaine. Approches quantitatives des fréquentations touristiques.
Toyo University (Ora-gun, Gunma ken), Graduate School of Engineering, Faculty of Engineering, Department of Urban Engineering Prof. Ohta Katsutoshi	Transports urbains : modélisation de la demande, gestion de la demande, études d'impacts du trafic urbain, analyse des coûts avantages sociaux des projets de transports, politique de transport durable.
Tsukuba University, Institute of Policy & Planning Sciences Prof. associé Okamoto Naoshisa	Planification des transports et ITS, approches des déplacements dans un cadre de temps libre. Planification des infrastructures portuaires.
Yamaguchi University (Yamaguchi), Faculty of Civil and Environmental Engineering Prof. associé Tamura Yoichi	Flux de trafic et planification urbaine et régionale. Sécurité du trafic et aménagement des routes.
Yamaguchi University (Yamaguchi), Faculty of Engineering, Computer Science and Systems Engineering Prof. Associé Isai Mamoru	Optimisation du contrôle du trafic, flux de trafic. Analyse des ondes de choc et contrôle du trafic. Modélisation dynamique. Modèles de prédiction à court terme.
Yokohama National University, Graduate School of Environment and Information Sciences Fumihiko ; Prof Nakamura. Associé	Transports publics et politiques de transports

Annexe 2 : Abréviations et acronymes

- AIST : Institute of Advanced Industrial Sciences and Technologies
- EASTS : Eastern Asian Society for Transportation Studies
- ITPS : Institute for Transport Policy Studies
- ITS : Intelligent Transport System
- JSCE : Japan Society of Civil Engineering
- METI : Ministry of Economy, Trade and Industry
- MITI : Ministry of International Trade and Industry (jusqu'en 2001)
- MLIT : Ministry of Land, Infrastructure and Transport
- MOC : Ministry of Construction (jusqu'en 2001)
- MOT : Ministry of Transport (jusqu'en 2001)
- NIES : National Institute for Environmental Studies
- NTSEL : National Traffic Safety and Environment Laboratory
- PWRI : Public Works Research Institute

10. La recherche dans les domaines modélisation transport / environnement En ALLEMAGNE



Cyrille Harpet (Economie & Humanisme)
Janvier 2006

I. Introduction : contexte et présentation de la mission

1. Contexte

Depuis 1949, l'Allemagne se présente, dans les zones occidentales, comme une fédération de *Länder* pour former la République fédérale allemande, incluant depuis 1989 les territoires de l'Allemagne de l'est. Une fois la reconstruction achevée avec l'aide des États Unis, vers 1950, l'essor économique est rapide et la mise en service d'un réseau autoroutier conséquent (Lübeck-Bâle en 1962, puis doublement en 1964 avec un nouvel itinéraire Francfort-sur-le-Main à Munich, le réseau atteignant en 1969 près de quatre mille kilomètres). Dans la zone d'occupation soviétique, la *Deutsche demokratische Republik* (1949 - 1989) la reconstruction s'avère plus lente et le maillage autoroutier moins étendu (mille huit cent kilomètres). C'est le réseau ferroviaire (quatorze mille kilomètres de lignes) qui assure alors à l'est 55% du trafic. Il est vrai que la plupart des routes et autoroutes qui joignaient les deux États allemands ont été coupées dès 1949. Les transports ont été réorganisés dans ces nouvelles limites territoriales. En 1989 avec la *perestroïka* (restructuration), l'appui de l'Union soviétique cesse et, en 1990, l'Allemagne est unifiée dans la République fédérale allemande. Les continuités routières et autoroutières avec les *Länder* de l'Est sont rétablies.

Depuis 1991, les lignes ferroviaires allemandes couvrent au total 90 000 kilomètres, avec accès à un train à grande vitesse. Pourtant le réseau routier comporte près de sept cent mille kilomètres de routes et onze mille kilomètres d'autoroutes sans péage. Il est parcouru par 40 millions de voitures et 2,5 millions de camions et autobus. La construction des autoroutes se poursuit au rythme de 200 kilomètres par an. L'objectif est que pour toute commune l'accès à ce réseau par camion ne soit pas à plus de trente minutes. Les dépenses liées à la réunification, au chômage (10% de la population qui pourrait être active) et les préoccupations écologiques (auxquelles il est accordé beaucoup d'importance dans ce pays) ralentissent les travaux.

L'Allemagne tient une place centrale en Europe, c'est un pays de transit, et ce rôle sera conforté avec l'élargissement des PECO à l'Union Européenne. Ce pays se caractérise par son modèle institutionnel et territorial (fédéraliste et décentralisé), le poids de ses opérateurs de transports et sa volonté de répondre aux objectifs de développement durable.

La planification telle qu'elle se prépare dans le cadre du Plan Fédéral pour les Infrastructures de Transport 2003 insiste plus particulièrement sur la promotion de modèles de développement durable. Cela se concrétise par le choix d'un scénario dit « d'intégration ». Il s'agit d'absorber une très forte croissance attendue « de telle manière que la mobilité puisse être soutenable et économiquement maniable ». Renforcer l'efficacité énergétique dans la consommation des carburants, limiter la croissance des coûts d'usage pour le transport de voyageur et de marchandises, augmenter la productivité pour le ferroviaire, tels sont les objectifs principaux assignés. La démarche allemande s'apparente aux réflexions qui ont prévalu lors de l'élaboration des schémas de services collectifs français.

La méthode d'évaluation économique des projets insiste plus particulièrement sur les impacts environnementaux et d'aménagement du territoire et sur les effets d'interdépendance des projets entre modes. Sur les impacts dits « spatiaux », seront évalués le transfert de la route vers les autres modes, l'amélioration de la qualité de service pour les territoires concernés, l'accessibilité aux équipements principaux d'infrastructures : plates-formes multimodales, ports, terminaux de transport combiné...)

Il faut aussi noter que l'Allemagne met en application cette année sa décision d'instaurer un péage sur les poids lourds au kilomètre sur l'ensemble de son réseau autoroutier. La loi qui a fixé le cadre juridique de cette tarification précise qu'une part prépondérante des recettes devra être affectée au développement des réseaux de transports. Alors que traditionnellement l'Allemagne finançait le développement des transports par des moyens budgétaires, ce pays tend vers un dispositif de financement par l'utilisateur, inspiré du modèle suisse. Cette mise en place sera regardée de très près par un certain nombre de pays de l'Union, dont la France⁴⁵.

Une forte tradition technique d'ingénierie du trafic urbain (ferroviaire et routier) et de planification routière (grands programmes autoroutiers dès les années 1920) trouve son ancrage institutionnel au sein d'organismes tels que la Todt Organisation (se substituant à la FGSV au sortir de la seconde guerre mondiale) et les grands centres universitaires dès les années 1950 (Aix-la-Chapelle, Stuttgart, Karlsruhe, Munich, Hanovre). Les principaux fondateurs de cette ingénierie civile allemande sont des universitaires⁴⁶, s'inspirant des travaux théoriques américains et français. La progression du parc de véhicules dans les années 60, et ce à travers l'Europe, oriente les travaux de recherche vers la modélisation et assure à l'ingénierie allemande de trafic une nouvelle autonomie.

⁴⁵ Dr. Peter GEHRUNG, Allemagne, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen Projektgruppe Bundesverkehrswegeplanung (Ministère Fédéral du transport, de la Construction et du Logement), 10030 Berlin; article "*Planification Fédérale des Infrastructures de transports en Allemagne*", pour le séminaire du CNT (Conseil National des Transports, France), dans le cadre du colloque du 14 avril 2003, « *Politiques d'investissement et de financement en infrastructures de transports : comparaisons européennes et enseignements pour la France* ».

⁴⁶ Professeurs Feuchtinger, Korte, Leutzbach, Schaechterle, Schlums.

Cela peut désormais se vérifier au travers l'existence des organismes de recherche publique et privée en Allemagne, lesquels déploient non seulement des équipes spécialisées en matière de modélisation Transport mais en outre poursuivent une logique de développement à l'international des produits de cette recherche à vocation d'application. Nous reconnaissons là un pragmatisme allemand qui s'affranchit de la recherche fondamentale pour constituer une recherche appliquée au plus près de la demande industrielle et des collectivités locales.

L'aménagement urbain, notamment intégrant les réseaux de transports publics (train, tramway, bus, métro) et les axes réservés à la mobilité dite « douce » ou « durable », se caractérise par un espacement systématique des axes de circulation (largeur de voies), par une répartition des voies pour tous modes de transport et par l'inscription de coupures ou espaces verts dans le maillage urbain et péri-urbain. Une volonté politique nationale clairement affichée et déjà ancienne (présence d'un courant écologiste très incitatif depuis les années 60) de préservation et de protection de l'environnement semble se décliner au travers des politiques d'aménagement urbain et des collectivités locales (les Länders).

Une sensibilité environnementale a émergé au fil des années 80, notamment à la suite de trois évènements marquants l'opinion et la population allemandes. La question de la gestion et du traitement des déchets issus des activités nucléaires a donné lieu à des affrontements sérieux entre forces de l'ordre et groupes de contestation issus de la société civile. En second lieu, la catastrophe de Tchernobyl en 1986 (avril) a renforcé ce sentiment d'un risque technologique possible et aux conséquences tragiques sur les populations. Enfin, la position géographique de l'Allemagne entre les deux blocs durant la guerre froide et donc à portée des missiles sols-sols orientés sur la Russie mais d'une portée de 150 km a exercé une pression politique prononcée en faveur des militants écologiques allemands. L'élection d'un candidat du mouvement écologiste au ministère du Länder de l'Essen puis au Bund dans les années 90 a conforté ce positionnement politique pour l'avenir du pays. Les fonds pour la recherche publique s'en sont trouvés d'une part consolidés et les travaux intégrant les aspects environnementaux démultipliés.

2. Mission en Allemagne

La mission prévue en Allemagne a été réalisée entre les 5 et 10 septembre 2005. Le taux de réponse aux demandes d'entretiens a été remarquablement élevé : aucun refus et une seule indisponibilité d'un professeur et consultant. La mission a permis de recueillir un nombre assez considérable de matériaux scientifiques, liés directement à la problématique « pratiques de modélisation des aspects environnementaux dans le domaine du transport terrestre ». L'itinéraire adopté pour cette investigation a été celui limité à l'axe de la vallée de la Ruhr, laquelle est ponctuée d'un important réseau ferroviaire inter-urbain. Du coup, nous avons pu effectuer des escales sur chacune des principales villes universitaires. L'absence de réponse émanant de l'IVF de Berlin (Institut für Verkehrsforschung) ainsi que du DIW de Berlin (Deutsches Institut für Wirtschaftsvorschung) nous a obligé à ne pas prolonger notre trajet en direction de Berlin comme nous l'avions projeté initialement.

Il manquera ainsi dans ce rapport de mission une représentation et information relatives à la politique fédérale allemande en matière de recherche sur les transports.

La dizaine d'entretiens menés au fil de cette mission (voir liste ci-dessous) permet probablement de se faire une idée relativement fidèle de la situation actuelle de la recherche en modélisation des déplacements en Allemagne. Bien entendu, cette consultation ne prétend ni à l'exhaustivité ni à la représentativité, du fait que certains milieux scientifiques n'ont pu être sollicités, faute de temps : économistes, météorologistes, architectes, physiciens par exemple. Un plus juste équilibre a été obtenu par rapport aux missions canadienne et anglaise en ce qui concerne la consultation de laboratoires universitaires et de cabinets d'étude privés. Cette approche a été facilitée notamment par une grande proximité géographique des universités et des sociétés privées.

Nous avons ainsi consulté 9 organismes, parmi lesquels nous comptons 4 universités et établissements publics et 5 cabinets privés.

Organisme	Laboratoire ou département	Personnes ressources
Université de KARLSRUHE	Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung IWW	Prof Rothengatter Ing-David Schmedding
Université de KARLSRUHE	Institut für Verkehrswesen	Prof Zumpetter Ing-Bastian Chlond
Ville de Stuttgart	Amt für Umweltschutz	Ulrich Vogt
Institut WUPERTAL		Prof Manfred Fishedick Prof Karl-Otto Schallaböck
Université d'AACHEN (Aix-la-Chapelle)	Institut for Urban and Transport Planning, RWTH	Prof K.J. Beckmann Prof Rindsfueser
Société PTV à KARLSRUHE		Prof U.Brannolte Prof Thomas Benz Prof Mac Farland
Société TTK à KARLSRUHE		Prof Thomas Balsler
Société BAST à BERGISCH-GLADBACH (près de Koblenz)		Dr Bartolomaues Dr Markus Auerbach Dr Müller
Société AVISO GmbH		Arnold Niederau

Cette liste des organismes et personnes ressources consultés a permis d'établir un premier état des lieux de la production de la recherche et des lignes de développement en modélisation Transport/Environnement. Mais nous devons compléter cet inventaire, somme toute limité géographiquement (Länder du Bade-Wurtemberg et de Essen) par celui plus large d'autres organismes, publics et privés identifiés ou cités au fil des entretiens.

Organisme	département	interlocuteurs	
Institut für Verkehrsforschung BERLIN	IVF, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt	Elmar Brockfeld, Peter Wagner, modélisateurs	
Deutsches Institut für Wirtschaftsvorschung BERLIN	DIW, département Energie, Verkehr, Umwelt	Harmt Kuhfeld Dr Heike Link	
European Academy for Urban Environment à BERLIN	EA-UE	Hanns Uve Schwelder	
Umweltbundesamt à BERLIN		Reinhard Kolke Verron Hewig Norbert Gorigen	
Société PUTV à GAPPENACH (près de Koblenz)	Projektvorschung Unternehmensberatung Transport und Verkehr	Horst-Hermann Binnenbruck	
DLR, German Aerospace Center	Institute of Transport Research	Prof Dirk Strauch	
Université de DUISBURG (Essen)	Physics of Transport and Traffic	Prof Dr Michael Schreckenber	
Université de DESSAU- DORTMUND (Saxe)	Umweltbundesamt		
Université de DORTMUND	Institut für Raumplanung, IRPUD (Institut of Spatial Planning)	Michael Wegener Klaus Spiekermann Prof R.Moeckel	
Université de COLOGNE	Center for Applied Informatics ZAIK	J. Gräfe	
Société GOPA GmbH à HAMBURG (Bad Homburg)			
Société Spiekermann & Wegener (S&W) à DORTMUND			
BMW Group, MUNICH	Department Traffic and Environment	Norbert Metz	
Ville de Nuremberg	Institut des contrôles chimiques	Werner Balzer	
DLR, BERLIN	Institute for Transport	Jens Borken	

	Research		
Université de HALLE	Department Environment Technology	Christian v.Rozycki Heinz Köser	
Université de DARMSTADT	Oko Institut	Ulrich Fritsch	GEMIS (global emission model for integrated systems, 2001
Oko-Recherche Büro für Umweltforschung und beratung GmbH		Schwarz W.	TERM- indikatoren
		Höpfner Ulrich	TERM- indikatoren
BERLIN	IFEU,	Lambrecht Udo	
WUPPERTAL		Ritthoff M. Rohn H. Liedtke C.	MIPS (2002) www.mips.info
RWTH à AACHEN			
HHS GmbH à AACHEN Harloff Hensel Stadtplanung	Harloff & Hensel Planung Verkhers Büro	Harloff Hensel	
BSV Reinhold BAIER GmbH à AACHEN		Reinhold Baier	
Université de DUISBURG- ESSEN			
Université de MUNSTER		Prof Huber	

Chaque entretien a duré en moyenne deux heures, avec un accueil particulièrement soigné et une ouverture réelle au dialogue. La limite de l'exercice tient au temps alloué et à la précision attendue dans les réponses : un temps réservé aux généralités concernant les travaux de recherche en modélisation contraint souvent à limiter le temps réservé aux points précis, notamment concernant les modèles conçus, utilisés ou en voie de développement. L'envoi du questionnaire au préalable n'a jamais fait l'objet d'une réponse écrite aux questions posées.

Toutefois, nous reconnaissons une expression libre des divers représentants universitaires rencontrés, les échanges avec des universités françaises étant fréquents. En ce qui concerne les sociétés privées d'ingénierie, il nous faut être plus nuancé en fonction des sociétés : un intérêt réel à l'égard de notre étude d'une part et une grande considération portée à notre recherche, alors que

d'autre part un cabinet d'étude (le groupe PTV) a plutôt insisté sur une présentation formelle des activités d'ingénierie.

Cette monographie sera composée des présentations suivantes

- Le contexte organisationnel de la recherche : les principaux centres de recherche et acteurs du système de production / utilisation de la modélisation transport environnement.
- Les travaux de recherche en modélisation, par catégories de structures (universités, cabinets)
- Les domaines de recherche et l'activité des laboratoires de recherche universitaires (ingénierie civile et environnementale).

II. Les principaux centres de production de la recherche en Allemagne

1.L'offre de recherche universitaire.

L'Allemagne compte plus de 320 établissements d'enseignement supérieur répartis dans tout le pays. Les étudiants s'engageant dans des études supérieures en Allemagne peuvent choisir entre trois types d'établissement :

- les universités
- les universités techniques
- les Fachhochschulen

Dans les **universités**, l'ensemble des disciplines sont enseignées (de la médecine aux sciences de l'ingénieur, en passant par les sciences de la nature, les lettres et sciences humaines, le droit, les sciences économiques, les sciences sociales, les sciences agronomiques etc.). Les études et la recherche sont traditionnellement fortement liées dans les universités allemandes. Les universités délivrent les titres universitaires du Diplom et du Magister Artium ainsi que celui de docteur. En outre, ce sont les seules institutions à pouvoir attribuer à ceux qui se destinent à l'enseignement supérieur ledit doctorat d'Etat ou l'habilitation (le Habilitationsrecht). La nouvelle Loi-cadre sur l'enseignement supérieur a créé la possibilité de suivre des filières débouchant sur les diplômes internationalement reconnus, le Bachelor ou Bakkalaureus et le Master.

Alors qu'à l'origine, les **universités et écoles supérieures techniques** enseignaient uniquement des matières techniques, elles sont devenues, de par l'évolution qu'elles ont suivie au cours des siècles, des établissements d'enseignement supérieur à spectre beaucoup plus large (études de lettres par exemple). Il reste néanmoins que dans ces universités et écoles supérieures techniques, aujourd'hui encore, ce sont les cursus d'études en sciences de l'ingénieur et en sciences de la nature qui sont majoritairement représentées.

Les **Fachhochschulen** ou **Ecoles polytechniques** atteignent un effectif de plus de 150 établissements existants. Elles offrent des études, surtout dans les domaines des sciences de l'ingénieur, des sciences économiques, des sciences sociales. La Fachhochschule est une création spécifiquement allemande et, sous sa forme actuelle, de récente date (fin des années 1960). Mais sa popularité croît rapidement et, déjà, un quart de tous les étudiants allemands qui entreprennent des études supérieures choisissent une Fachhochschule. Le nombre des étudiants inscrits dans les Fachhochschulen s'est multiplié par cinq depuis leur création et 32 % de tous les diplômés de l'enseignement supérieur y ont fait leurs études et obtenu leur diplôme. Dans certains domaines, comme par exemple les formations d'ingénieur, plus de la moitié des diplômés sont passés par une Fachhochschule. La Loi-cadre sur l'enseignement supérieur adoptée par le gouvernement fédéral, en 1976, élevèrent les Fachhochschulen au même rang que les universités et autres institutions comparables. Comme ces dernières, elles sont autonomes dans le cadre des lois des Länder, c'est-à-dire que la liberté de la recherche et de l'enseignement et le principe de l'autonomie administrative sont garantis. Ce qui distingue les conditions de poursuite des études au sein des Fachhochschule des universités n'est pas seulement leur durée généralement plus courte (4 ans, par rapport à 4-6 ans à l'université), mais plus particulièrement leur orientation vers la pratique. Les études pratiques sont intégrées dans les cursus et ont généralement une durée entre six mois et un an (stages professionnels).

On peut compter une trentaine de grandes universités allemandes dont la renommée historique et internationale est importante. Nous en avons recensé quelques unes méritant d'être citées.

1) Aachen : Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH)

L'université technique de Rhénanie-Westphalie (ingénierie mécanique et de l'électrotechnique)

2) Berlin : 4 universités dont la Humboldt-Universität (29 chercheurs ont obtenu le Prix Nobel, dont Albert Einstein, Otto Hahn, Werner Heisenberg, Emil Fischer, Max Planck et Fritz Haber) (mathématiques, chimie), la Freie Universität (université libre) et 7 universités techniques.

3) Bonn : Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

4) Darmstadt : la Technische Universität de Darmstadt (TU)

(ingénierie mécanique ou la physique, informatique)

5) Dresde : la Technische Universität de Dresde

la plus grande université de Saxe (sciences naturelles et de l'ingénierie)

6) Nuremberg : Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nuremberg (Bavière)

(dont filières de «Chemical Engineering» et «Computational Engineering»)

7) Francfort sur le Main, Oestrich-Winkel : La Johann Wolfgang Goethe-Universität

8) Francfort : Europa-Universität Viadrina Francfort (Oder)

9) Fribourg en Brisgau : Albert-Ludwigs-Universität Fribourg en Brisgau

Dix Prix Nobel, dont Friedrich August von Hayek, y ont fait de la recherche, tout comme Walter Eucken, le fondateur de l'école libérale modérée «Freiburger Schule» (économie).

10) Göttingen : Georg-August-Universität Göttingen

L'université de Göttingen se compose de cinq instituts Max Planck, un service détaché du Centre allemand aéronautique et spatial et plusieurs instituts indépendants et l'Académie des sciences

entourent l'université. L'université a créé de nouvelles filières high-tech d'enseignement (bioinformatique, technologies des biomolécules, neurosciences). Sept Prix Nobel, dont Gustav Hertz et Max Born, ont enseigné à Göttingen et plus de 40 y ont fait de la recherche, le dernier étant Herbert Kroemer.

11) Greifswald : Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

12) Hagen : FernUniversität Hagen

La FernUniversität Hagen est depuis 1974 l'unique université de téléenseignement dans l'espace germanophone (électrotechnique, mathématiques, sciences économiques).

13) Hambourg : 5 universités, 4 IUT ou écoles supérieures

14) Heidelberg : Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg

La plus ancienne université d'Allemagne, de 618 ans, a déjà accueilli sept Prix Nobel (Georg Wittig, Bert Sakmann, Walter Bothe et Hans Jensen)

15) Jéna : Friedrich-Schiller-Universität Jéna

16) Köln : Universität zu Köln

17) Konstanz : Universität Konstanz

18) Mannheim : Universität Mannheim

19) Munich : métropole de la science avec 3 universités, 3 IUT et 5 écoles supérieures. La Ludwig-Maximilians-Universität, l'université technique de Munich (TUM) a reçu 3 prix Nobel (nouvelles hautes technologies, la biophysique).

20) Münster : Westfälische Wilhelms-Universität Münster

21) Rostock : Universität Rostock

Centre de la formation et des sciences (démographie, sciences agraires, protection de l'environnement).

22) Stuttgart : L'université de Stuttgart connaît une renommée en sciences de l'environnement, en génie énergétique ainsi que la technique des transports et des véhicules. L'université de Hohenheim est spécialisée en agronomie et en sciences naturelles.

23) Tübingen : Eberhard-Karls-Universität Tübingen

24) Universität zu Witten-Herdecke : seule véritable université privée allemande.

25) Wurtzbourg : Julius-Maximilians-Universität Wurtzbourg

C'est à Wurtzbourg que le premier Prix Nobel de physique, Wilhelm Conrad Röntgen, radiographia le corps humain pour la première fois. D'autres Prix Nobel, comme Johannes Stark ou Klaus von Klitzing firent également de la recherche dans cette université.

2. L'offre de recherche hors université

Les travaux antérieurs sur l'ingénierie des transports avaient circonscrit le périmètre de la recherche à la fameuse tradition d'ingénierie civile. L'état des lieux proposé ici en Allemagne, dix ans plus tard, donnera place à des organisations plus hétérogènes en matière de formation et de recherche, et ce pour deux raisons majeures :

La première tient à la politique de recherche instaurée par l'Union européenne, à savoir portant sur une demande d'harmonisation des méthodes des pays adhérents en vue de rendre comparables des résultats produits sur des problématiques identiques et sur l'évaluation des coûts imputables au trafic routier (externalités négatives, coûts économiques et sociaux des impacts liés aux activités de transport etc).

En second lieu, le territoire étant largement couvert des infrastructures de transport (maillage serré des axes routiers et ferroviaires), la tendance observée tient plus précisément à la modélisation du trafic à des fins de gestion, de régulation des déplacements routiers. Dès lors ce sont moins les organismes de recherche sur la construction des routes (Strassenbau), sur la conception de la voirie (Strassenwesen) ou sur les infrastructures en général qui occuperont la place de choix dans notre répertoire, mais bien plutôt ceux liés à l'économie des transports (Verkehrswirtschaft), à l'écologie et à l'environnement (Ökologie, Umwelt), à la régulation des trafics (Verkehrsregulierung).

Une orientation notable est à relever aussi dans la modélisation du trafic : à la différence d'une ingénierie française qui table sur un parc de véhicules pour estimer des échelles de déplacements et de mobilité (voir travaux l'INRETS, modèle PARC), l'inflexion allemande porte sur l'analyse des comportements des usagers. Que ce soit dans l'univers universitaire ou dans les cabinets d'étude, la prise en compte des motifs de déplacement, des modes et des buts de la mobilité des habitants, il s'agit de dresser une typologie des comportements la plus détaillée possible. Cette investigation qui se recentre sur les acteurs et sur l'homme en général est poussée jusqu'à la déclinaison des comportements adoptés face à des aléas, à des signaux ou à des informations diffusées aux usagers.(voir infra IFV et PTV).

La troisième caractéristique majeure de ces travaux repose sur le recours systématique aux Systèmes d'information géographique (SIG, ou ISG en Allemand), renseignés dans le détail non seulement sur la topographie des secteurs (maillage serré des zones et secteurs de déplacement), sur leur occupation (habitats, commerces, équipements), sur la nature et la configuration des infrastructures (nature du revêtement, formes des tracés) mais aussi sur la densité de population, les fréquences de déplacement à la minute près sur 24 heures, les modes de déplacement etc.

a) Les instituts de recherche privés.

- **la DVWG** : société allemande des sciences sur les transports (Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft⁴⁷), plate-forme scientifique réunissant des chercheurs universitaires et experts consultants dans les divers domaines (sécurité, logistique etc) relatifs aux transports (tous modes). Cette société est à l'origine d'une plate-forme européenne, de publications, de forums scientifiques.

- **la BSVI**⁴⁸ : Association fédérale des ingénieurs des transports et de construction des routes (Bundesvereinigung der Straßenbau- und Verkehrsingenieure BSVI", dotée d'une organisation centrale de ces associations fédérales et nationales, basée à Hannovre, et pourvue de 14 délégations

⁴⁷ <http://www.dvwg.de> ; présidence assurée par le professeur Heiner Hautau, de l'Université de Hamburg, Institut für Verkehrswissenschaft; et directeur de l'Institut für Stadt- und Regionalplanung INSTARA GmbH

sur les Länder. Cette association réunit 19 000 membres issus des plus importantes fédérations d'ingénieurs.

- **la FGSV**⁴⁹ : Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), société de recherche sous statut d'association technique et scientifique d'utilité publique fondée en 1924. Cette association réunit plus de 2000 membres. Des commissions spécifiques sont réparties autour des questions de construction-infrastructures, transport, management de la qualité, et déclinées en sous-commissions de recherche.

- **la SRL**⁵⁰ : L'association (Vereinigung) für Stadt, Regional und Landesplanung, SRL, a été créée en avril 1969 à Bonn. Financièrement indépendante, la SRL est désormais basée à Berlin (siège), et réunit près de 2000 adhérents professionnels du domaine de la planification. Issus de bureaux privés, du service public, de fédérations et d'autres Institutions fédérales et nationales, ces professionnels « planificateurs » représentent autant de compétences et spécialités que sont l'urbanisme, planification régionale, aménagement du territoire, aménagement de l'espace, planification du trafic, planification de paysage, architecture, géographie, l'écologie, technique urbaine, agriculture, jurisprudence, sociologie, économie politique, sciences administratives...

b) Les instituts de recherche des collectivités.

- **L'IFEU**⁵¹, l'Institut de recherche énergétique et environnementale (Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH),

- **l'Institut für Straßenverkehr Köln**⁵² (ISK), l'Institut pour le transport routier de Cologne, et le "des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft"⁵³ (GDV), Organisme de recherche sur la sécurité dans le transport allemand.

⁴⁸ www.vsvi.de

⁴⁹ <http://www.fgsv.de>

⁵⁰ <http://www.srl.de>

⁵¹ voir site Web : <http://www.ifeu.org>

⁵² voir site : <http://www.isk-gdv.de>

⁵³ voir site : <http://www.gdv.de>

c) Les bureaux d'études

Ils sont très nombreux en Allemagne et ne peuvent être ici listés de manière exhaustive. Nous nous en tiendrons à ceux cités (une quinzaine) par les sociétés rencontrées ou présents au sein de groupes de recherche. Ils assurent à la fois un rôle de recherche, de développement et de commercialisation et diffusion des produits de la recherche :

Société	lieu	modèle diffusé	accès Web
PTV Gmbh	Karlsruhe	VISSIM VISEM VISUM VISIO	www.ptv.de http://www.english.ptv.de
TTK Gmbh	Karlsruhe		http://www.ttk.de
AVISO Gmbh	Aachen		http://www.aviso-gmbh.de
Wegener & Spiekermann Gmbh	Dortmund		
Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft MBH	Dortmund	LIMA	www.stapelfeldt
ArguSoft GmbH	Mechernich	Modèle AUSTAL	http://www.austal2000.de
ACCON GmbH	Greifenberg	CADNAE	www.accon.de
Braunstein et Berndt GmbH	Backnang	SOUNDPLAN	www.soundplan.de
Wölfel Messsystem Software GmbH	Höchberg	IMMI	http://www.woelfel.de
KTT (Kunz Technology Transfer) GmbH	Saarbrücken	STREET S.1	http://www.kttumwelt.com
HHS Harloff Hensel Stadtplanung	Aachen		http://www.hhs-online.com
ETC Transport Consultants GmbH	Berlin		http://www.etc-consult.de
ICL Ingenieur Consult	Leipzig		
BSV Reinhold BAIER GmbH	Aachen		http://bsv-planung.de
Planungsgruppe Elbberg	Hambourg		http://www.elbberg.de
IVU Umwelt GmbH	Sexau	modèle IMMIS	http://www.immis.de

Nous découvrirons dans le prochain chapitre les activités précises de trois d'entre elles, à savoir le groupe PTV, la filiale TTK de ce groupe, la société AVISO. En effet, dans l'analyse des travaux de recherche en modélisation Transport / Environnement, nous aborderons explicitement les démarches

scientifiques spécifiques adoptées par ces cabinets d'études et les modes de collaboration établis avec les universités, les collectivités locales ainsi que les autres organismes. Nous devons d'emblée annoncer ici que les partenariats privés-publics, notamment entre universités et cabinets d'ingénierie, sont particulièrement développés et recommandés. Une sorte de filiation, par école de pensée, par proximité géographique, par relations professeurs-étudiants, apparaît au fil des consultations tout au long de la vallée de la Ruhr, depuis Stuttgart jusqu'à Aachen, en passant par Karlsruhe, Bonn, Köln, Gapenach....

3. La demande : Les autorités centrales et locales, les entreprises de transport

a) Autorités centrales

Les Ministères Fédéraux :

1. Ministère Fédéral des Transports, de la Construction et du Logement (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung)

2. Ministère Fédéral de l'Environnement, de la Protection de la Nature et de la Sûreté Nucléaire (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit) : le BMU est chargé de la politique de l'environnement de la Fédération au sein du gouvernement fédéral. L'office fédéral de l'environnement, l'office fédéral de la protection de la nature ainsi que l'office fédéral de la sécurité nucléaire font partie du ressort du BMU. Le UBA (Umweltbundesamt) ou Office Fédéral de l'Environnement, dont le siège est basé à Dessau, coordonne et commande des travaux de recherche spécifiquement sur les impacts environnementaux liés aux transports et dispose de bases de données ainsi que de résultats d'études⁵⁴.

3. Ministère Fédéral de l'Economie et des technologies (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) :

4. Ministère Fédéral de l'Enseignement et de la Recherche (Bundesministerium für Bildung und Forschung) : le BMBF est chargé de la planification de l'éducation et la subvention de la recherche scientifique ainsi que de l'ensemble du système universitaire. Le BMBF est divisé en 8 départements : Département LS - Direction et stratégie, organismes de recherche ; Département Z - Département central ; Département 1 - Coopération européenne et internationale ; Département 2 - Formation professionnelle et réforme de l'enseignement ; Département 3 - Etablissements d'enseignement supérieur, formation continue ; Département 4 - Recherche, transport, astronautique ; Département 5 - Information et communication, nouvelles technologies ; Département 6 - Santé, biologie, développement durable. Une partie des compétences est transférée au Ministère fédéral de l'économie et de la technologie : le spatial, les transports, les technologies maritimes ainsi que la politique des brevets.

⁵⁴ Accès Web sur ces programmes et résultats d'étude : <http://www.umweltbundesamt.de/index-e.htm>

b) Les collectivités locales

L'Allemagne se compose de 16 Länder, ou pays, représentant autant de gouvernements autonomes dont les membres nomment des représentants auprès de l'organe fédéral qu'est le Bundesrat. Cette chambre représentant les 16 Länder, est le principal instrument à la disposition de l'ensemble des Länder qui leur permet de faire entendre leurs intérêts à l'échelon fédéral. C'est au sein du Bundesrat que s'exprime le plus clairement l'ordre fédéral au niveau de la Fédération. Le Bundesrat est un organe fédéral et il participe à la législation et à l'administration de la Fédération. Le nombre de voix dont dispose chaque Land varie selon la taille de sa population (chaque Land a au moins trois voix, les Länder qui comptent plus de deux millions d'habitants en ont quatre, ceux qui comptent plus de six millions d'habitants en ont cinq, ceux qui comptent plus de sept millions d'habitants en ont six). En tant qu'organe de la Fédération, le Bundesrat assume *uniquement des compétences fédérales*. Il n'est pas compétent pour les affaires des Länder. Le Bundesrat prend position sur les projets et propositions du gouvernement. Il a le "premier mot" dans la procédure parlementaire. La Loi fondamentale prévoit à l'article 76 que le gouvernement fédéral doit soumettre tout d'abord ses projets de loi au Bundesrat. Ce dernier a le droit de "prendre position" sur ces projets. Cette prise de position n'est cependant à ce stade de la procédure législative qu'une opinion. Dans les commissions du Bundesrat, les projets sont ensuite examinés sous l'angle du droit constitutionnel, ainsi que sous les angles technique, financier et politique. Les expériences et enseignements tirés de l'exécution des lois par les Länder viennent ainsi s'inscrire dans la législation fédérale, et les Länder exercent par l'intermédiaire du Bundesrat un contrôle vis-à-vis du gouvernement fédéral.

Chaque Land en tant qu'Etat a sa propre constitution. Ses dispositions ne doivent pas être contraire à la constitution fédérale, la Loi fondamentale, mais peuvent varier d'un Land à l'autre. Le Land a un parlement qui vote les lois de Land. Il a son gouvernement avec à sa tête un ministre-président et les ministres de Land. Le nombre et l'attribution des ministères peuvent varier d'un Land à l'autre. A côté des collectivités locales, les Länder constituent en Allemagne le véritable niveau administratif et emploient un total de plus de 2 millions d'agents. Parmi les 16 Länder que compte la République fédérale, on distingue deux genres de Land :

- **les Länder dotés de territoire important** : Bade-Wurtemberg, Bavière, Brandebourg, Hesse, Mecklembourg-Poméranie occidentale, Basse-Saxe, Rhénanie-du-Nord/Westphalie, Rhénanie-Palatinat, Saxe, Saxe-Anhalt, Sarre, Schleswig-Holstein, Thuringe
- **les villes-Etats** : Berlin, Brême, Hambourg.

La plupart des Länder dotés d'un territoire important disposent d'une hiérarchie administrative à trois niveaux: au niveau supérieur, les autorités suprêmes du Land (ministères du Land), au niveau intermédiaire, les circonscriptions administratives intermédiaires appelées présidence régionale (Regierungspräsidium) ou gouvernement de district (Bezirksregierung) et les autorités administratives de première instance que l'on retrouve souvent au niveau des administrations communales et qui

assurent l'interface avec le Land (services de l'administration de Kreis et services de l'administration communale). Certains Länder dotés de territoire restreint comme la Sarre et le Schleswig-Holstein ainsi que les villes-Etats ne possèdent pas d'instances intermédiaires. Dans les villes-Etats, l'administration de l'Etat et de la municipalité se rejoignent. Les gouvernements de ces villes-Etats (Sénats) doivent assumer à la fois les tâches du Land et de la municipalité.

En dehors des autorités d'administration générale, on trouve au sein de l'administration du Land des autorités spécialisées :

- Les **autorités supérieures du Land** (Landesoberbehörden), comprenant les offices de la statistique, les offices de police criminelle, les offices pour la protection de la Constitution, les services des rémunérations et des pensions de Land.
- Les **autorités spécialisées intermédiaires** (Höhere Sonderbehörden) se situent à un niveau intermédiaire entre les ministères et les autorités spécialisées de première instance (ce sont par exemple les directions régionales des finances, les inspections régionales de l'enseignement et les directions régionales des forêts).
- Les **autorités spécialisées de première instance** (Untere Sonderbehörden) qui se situent au niveau local sont nombreuses et présentent une grande diversité. Ce sont notamment les bureaux des impôts, les services des forêts, les services des mines, les services de l'inspection du travail, les inspections des établissements scolaires, les services de l'hygiène et de la santé publique, les services publics du bâtiment, les services des ponts et chaussées, les services techniques des eaux et de la navigation, les services du cadastre et les services agronomiques. Dans les nouveaux Länder de l'Allemagne de l'Est, les services publics de l'environnement ont le statut d'autorité spécialisée.

Dans tous les Länder allemands, les principaux domaines administratifs sur le plan des effectifs sont l'éducation avec les établissements scolaires et universitaires, la police et l'administration des finances.

- Les **établissements scolaires et universitaires publics** sont gérés par les ministères de l'éducation et des affaires culturelles des Länder. Par l'intermédiaire de la Conférence permanente des ministres de l'éducation et des affaires culturelles, les Länder coordonnent en particulier les modalités de la reconnaissance mutuelle des diplômes de fin d'études. Les questions matérielles (construction d'établissements scolaires, équipement en mobilier et moyens pédagogiques) relèvent en règle générale de la compétence des collectivités locales (communes et Kreise).
- Les **établissements d'enseignement supérieur** jouissent d'un statut d'établissements autonomes. Ils sont sous la tutelle du ministère des sciences et de la recherche de chaque Land. On compte en Allemagne plus de 300 établissements d'enseignement supérieur fréquentés par un total de deux millions d'étudiants (environ). Les universités, les instituts supérieurs d'enseignement technologique et appliqué (Fachhochschule) et les académies professionnelles (Berufsakademien) emploient plus de

200.000 personnes. Les professeurs d'université jouissent d'un statut particulier au sein du personnel des universités, leur liberté d'enseignement et de recherche étant garantie par la Loi fondamentale.

L'unité de base des collectivités locales est **la commune (Gemeinde)**. A côté d'elle, existe le **Kreis (ou Landkreis)** qui englobe plusieurs communes. Les Kreise ont - tout comme les communes - une personnalité morale propre et des organes élus directement par la population. Ils remplissent un certain nombre de compétences qui dépassent les capacités propres des communes, surtout des petites communes situées en milieu rural. En revanche, les grandes métropoles sont assimilées à des Kreise (*Stadtkreis* ou *Kreisfreie Stadt* ce qui peut être traduit par arrondissement urbain). Dans ce cas, la municipalité exerce à la fois les compétences normalement dévolues à un Kreis et celles dévolues à une commune ordinaire. Cette solution a été choisie, parce qu'il s'agit de très grandes villes, qui ont en règle générale plus de 100.000 habitants et qui possèdent toutes les capacités administratives et financières pour remplir à la fois les tâches des communes ordinaires, mais aussi celles dévolues à l'entité supra communale, le Kreis.

Les **Kreise constituent le niveau supra communal** dans le tissu administratif des collectivités locales en Allemagne. Le Kreis (dans certains Länder aussi appelé Landkreis) regroupe plusieurs communes de taille variable, mais pas les grandes métropoles qui ont un statut à part. A part leur statut de collectivité avec leurs compétences propres, les Kreise constituent aussi des circonscriptions étatiques. A cet effet, existe à côté de l'administration propre du Kreis en tant que collectivité locale, une administration de l'Etat (Land) qui gère les compétences étatiques à ce niveau pour une population variant en général entre 100.000 et 300.000 habitants.

Les grandes métropoles, quant à elles, ne font pas partie des Kreise. Ayant les capacités financières et administratives nécessaires pour faire face à toutes les tâches à un niveau communal et même supra communal, leur territoire ne fait pas partie d'un Kreis et elles ont, outre leurs compétences de commune, toutes les compétences que les textes reconnaissent aux Kreise. Les lois des Länder leur reconnaissent le statut de villes assimilées à un Kreis (*Stadtkreis* ou *kreisfreie Stadt*).

Parmi les compétences facultatives des communes, découlant du principe de la libre administration, nous relevons surtout celle de création et d'entretien des infrastructures de transport public. Pour ce qui est des compétences obligatoires dans le cadre du principe de la libre administration, c'est-à-dire les matières dont les communes doivent se charger en vertu des lois fédérales ou de celles du Land, on peut citer l'urbanisme (la planification et l'aménagement de l'espace communal à travers des schémas d'aménagement et des Plans d'occupation des sols), la construction et l'entretien de la voirie locale, l'ensemble des mesures de prévention des sinistres, l'assainissement urbain et la rénovation des quartiers. Enfin, pour ce qui est des compétences étatiques (du Land) assumées par délégation par les villes (les villes assimilées à un Kreis et les villes moyennes), elles se trouvent surtout dans le domaine de ce que l'on pourrait appeler la "police administrative", de la sécurité et de l'hygiène, avec la réalisation du recensement démographique et la tenue des statistiques, la réglementation du trafic urbain.

Les collectivités locales que sont les communes ne peuvent investir dans des équipements et postes à fortes compétences en modélisation en régie, sauf à l'échelle des Kreise et des métropoles qui couvrent de larges territoires. Pour l'élaboration de modèles, elles font alors appel aux universités sinon à des cabinets d'ingénierie. Il arrive toutefois, qu'un partenariat puisse s'établir entre université et collectivité locale de manière à mener une expérimentation élargie, notamment dans le cadre des programmes européens. C'est alors que des fonds de recherche peuvent assurer une montée en compétences des collectivités locales par l'acquisition de données (plan Bruit), l'établissement de cartographies et la formation spécifique des agents territoriaux. Les liens établis entre services Environnement et la problématique « planification des transports » ou « aménagement des infrastructures » est explicite au sein des collectivités locales. Ceci vaut notamment pour certaines villes qui bénéficient d'une renommée européenne en matière de protection de l'environnement et de plans d'action contre les nuisances (sonores et aériennes). Nous songeons notamment à Stuttgart, à Karlsruhe, à Heidelberg qui, même dans une configuration géographique très distincte, ont adopté des systèmes innovants en modélisation (climatologie et bruit à Stuttgart) ou en aménagement urbain (réseau Tram-train de Karlsruhe). Nous allons le voir dans le chapitre consacré à ces travaux.

III. Les laboratoires universitaires de recherche en modélisation des transports

D'après Arnold Niederau de la société AVISO, deux grandes écoles allemandes constituent des références universitaires en matière de modélisation dans le domaine de la planification des transports (planification urbaine et ingénierie de trafic) : l'université RWTA de Aachen (Aix-La-Chapelle), dont sont issus les créateurs des sociétés AVISO et HHS⁵⁵, et l'université IFW de Karlsruhe, dont sont issues PTV et TTK. Les deux éminences grises mentionnées à travers l'histoire de cette ingénierie ont ainsi formé deux écoles aux méthodes et pratiques distinctes mais omniprésentes, à savoir : le professeur Mäcke (1960-70), associé aux professeurs Korte à Aachen et le professeur Leutzbach à Karlsruhe. Toutefois, tout l'enseignement de la modélisation vient des USA. C'est depuis 1985 que la modélisation fait l'objet d'enseignements spécifiques à l'Institut de planification urbaine et environnement d'Aachen. Ce qui marque une date de naissance précise des engagements de la politique de recherche en Allemagne en ce qui concerne les problématiques environnementales, nous l'avons déjà mentionné ci-dessus.

Présentation des équipes de recherche :

Nous distinguerons 3 approches spécifiques des équipes de recherche consultées :

- une modélisation planificatrice des territoires
- une simulation virtuelle des déplacements d'usagers à l'échelle d'un territoire
- une modélisation de prévision des impacts environnementaux liés aux trafics routiers (bruit, émissions polluantes)

⁵⁵ HHS : Harloff Hensel Stadtplanung est une société basée à Aachen ;

Le laboratoire « Economie et environnement » de l'**Université de Karlsruhe** (IWW⁵⁶ ou Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung) est dirigé par la professeur Rothengatter. L'équipe se compose de 4 professeurs, de 25 chercheurs et d'une vingtaine d'étudiants. Les travaux portent sur l'économie des transports et sur l'évaluation environnementale des transports. Les mathématiques ne sont pas enseignées en tant que disciplines à part entière mais sous l'angle d'une analyse économique. Ces études portent sur ce qui peut influencer les transports et l'ensemble des effets induits. La spécialité de ce laboratoire est celle de la construction de modèles dont l'usage combiné permettra une prise en compte des interactions entre trafics routiers, infrastructures et environnement. Par exemple, pour l'élaboration d'un réseau terrestre de transport, le laboratoire a conçu un modèle, le VACLAV⁵⁷. C'est un modèle d'affectation microscopique de trafic sur un réseau détaillé finement. Le résultat final de cette recherche dans le cadre d'un programme européen, consiste en un répertoire des zones de transport routier (selon des limites administratives). D'autres sources que celles de l'IWW ont pu être apportées à ce travail commun, notamment fournies par l'organisme néerlandais NEA, à l'origine des modèles tels que TEN-STAC et ETIS-BASE. Le modèle VACLAV a été développé pour et avec l'union européenne.

L'équipe de recherche de l'**Institute for Transport Studies** (IFV⁵⁸ ou Institut für Verkehrswesen) à l'Université de Karlsruhe, dirigée par le professeur Dirk Zumkeller, met au point actuellement un modèle très spécifique, en collaboration avec l'IWW et la société PTV. Le grand projet de modélisation en cours d'expérimentation consiste en une simulation virtuelle des transports et des impacts (coûts externes) à l'échelle d'un territoire. L'objectif visé est d'analyser, de comprendre et d'examiner à la loupe le comportement des usagers sur les trafics et leurs effets. Dans ce modèle, l'homme est au centre d'un système complexe d'analyse, le Mobitopp (panel de mobilité allemande, développé par l'IFV). Tout individu (désigné « homme ») a un projet de déplacement (liaison domicile –travail par exemple), et la problématique soulevée est celle de savoir « quel est le comportement observable lors de l'émission d'information ? ». Un programme de simulation VISSIM (mis au point par PTV), joint à celui des données de l'IFV et du système permet d'analyser les caractéristiques de trajet personnels, professionnels, de loisirs, de fin de semaine. La spécificité de cette étude tient à considérer la réaction du personnage central à partir des séquences de comportements de déplacement analysées par PTV. L'information est prise en compte par seulement quelques conducteurs. La problématique est : « comment les usagers réagissent-ils à cette information sur l'état de congestion de la route ? Prennent-ils un nouvel itinéraire ou conservent-ils le même ? ». Le système complet repose ainsi sur 3 niveaux : l'analyse des comportements humains, l'analyse de l'état du trafic, un système d'information sur les itinéraires.

⁵⁶ <http://www.iww.uni-karlsruhe.de/reddot/index.php>;

⁵⁷ Rapport final accessible sur le site : www.europa.eu.int/comm/environment/air/sat.htm
« Transport related impacts and instruments for sensitive areas » ; IWW, Planunggruppe ökologie, Umwelt GmbH de Hannover.

⁵⁸ <http://www.ifv.uni-karlsruhe.de>

Le Centre de recherche BAST⁵⁹, équivalent de l'INRETS français, est un organisme public sous tutelle du Ministère de la Recherche en Transport et déplacement routier. Cet établissement se compose de 400 personnes salariées, parmi lesquelles il faut compter environ 200 chercheurs et 200 techniciens. Le département « déplacements routiers », plus spécifiquement concerné par les questions de modélisation des aspects environnementaux liés au transport, comprend 19 personnes, parmi lesquelles sont présentes 5 chercheurs universitaires, des ingénieurs (école supérieure), des techniciens (écoles spécialisées), des ingénieurs d'université. Ce département comprend une cellule Environnement, dirigée par le professeur Bartolomaeus, au sein de laquelle exercent un biologiste (spécialiste de la flore), un géo-écologue (sols), un géo-physicien (air), un physicien acoustique. Les principaux travaux de modélisation portent spécifiquement sur les impacts relatifs au bruit. La modélisation fait l'objet à la fois de travaux de conception, d'application (expérimentation), d'utilisation portant notamment sur la diffusion et la propagation du bruit. Le professeur Bartolomaeus est en charge de proposer des solutions dans les constructions de nouvelles voies de transport et infrastructures pour évaluer et réduire les émissions sonores. Ce travail repose sur une nouvelle méthodologie de conception des bâtiments pour réduire les émissions de bruit. Ceci le conduit à s'enquérir des études menées et référencées dans le Guide du Bruit et des transports terrestres pour aboutir à la prévision des niveaux sonores. Ce Guide a été édité en 1980 par le Ministère de l'environnement et par celui des Transports. Lorsqu'une construction d'une voie urbaine ou rurale est en projet, il s'agit d'estimer le nombre de véhicules en transit, de calculer le bruit généré par ce trafic et d'aller jusqu'à des préconisations pour la construction de murs anti-bruit pour l'installation des équipements. Ces modèles de prévision des bruits sont l'objet des études du BAST. Ce sont des modèles de prévision des émissions sonores.

IV Les sociétés d'ingénierie des transports

1. La société PTV⁶⁰ (Karlsruhe)

A la suite des laboratoires publics, universitaires ou intégrés au sein d'organismes relevant de ministères, il s'agit ici de présenter les trois principales sociétés d'ingénierie et d'étude des transports consultées. Les sociétés PTV, TTK et AVISO sont parmi les plus renommées en Allemagne en matière de modélisation, ainsi qu'à l'échelle européenne et internationale pour PTV.

L'expérimentation pionnière en matière d'aménagement d'infrastructures combinant le ferroviaire et le tramway a sans aucun doute contribué fortement à assurer la compétence et la notoriété allemande, notamment sur l'aire urbaine de Karlsruhe. Le système Tram-Train est dès lors identifié comme une réelle compétence en ingénierie sur le secteur de Karlsruhe, depuis sa mise en fonctionnement à la fin des années 1990.

⁵⁹ <http://www.bast.de>.

⁶⁰ <http://www.english.ptv.de>

Mais la notoriété scientifique et technique allemande a connu une assise forte du fait aussi d'une capacité de modélisation territoriale des infrastructures de la part de cabinets d'ingénierie du trafic routier et ferré. La société PTV, dont le professeur **Ulrich Brannolte est un expert notoire**, a été fondée en 1979 et compte actuellement 320 personnes employées au niveau de la filiale spécialisée Transports et 470 au niveau du Groupe. Trois grands départements sont distingués :

- Trafic, avec des études de planification, de management et d'optimisation des infrastructures, systèmes de contrôle
- La Mobilité, avec des études et consultations sur du software
- La Logistique, avec des produits software et de management géographique.

La diversification des prestations de service en ingénierie repose sur la conception d'une multitude d'outils de modélisation spécifiques et protégés, à savoir que pour chaque composante des études, un logiciel a été développé : VISEM pour l'analyse de la demande de transport, VISUM pour le transport, VISSIM pour la simulation, CROSSIG pour le contrôle de trafic, VISUM online pour le management de transport.

La planification des transports repose sur de la modélisation de la demande (VISEM). L'ingénierie de trafic repose sur des modèles de géométrie des réseaux et de transit. Une description des véhicules, des comportements des conducteurs et de la régulation des contrôles avec signalisation ou sans signalisation permet de constituer la base de données pour la modélisation (de type VISUM, CROSSIG). Les données d'entrée (input) alimentent les modèles de trafic. Les données relatives aux structures alimentent le modèle VISEM, celles relatives aux comportements alimentent VISUM et celles relatives aux infrastructures le modèle VISSIM. L'assemblage des 3 composantes que sont VISEM, VISUM et VISSIM constitue le module software VISION.

Cette approche intégrée et globale a pu se réaliser par des collaborations étroites entre les laboratoires de recherche universitaire d'une part et le recrutement de jeunes chercheurs issus des filières de l'ingénierie de trafic. Les partenaires de ces travaux sont les universités, celle de Weimar notamment, mais aussi aux USA et au Japon. Les compétences sont trouvées dans les entreprises par approches successives.

Par ailleurs, dans le droit fil d'une extension des méthodes de modélisation et d'intégration globale des effets induits par les trafics sur les réseaux et infrastructures routières, la société PTV a conçu et développé un modèle microscopique, déposé auprès de l'Union européenne. Il s'agit du modèle ROTRANOMO⁶¹ (Road Traffic Noise Model). Les sociétés telles que Renault VI, PSA en sont utilisatrices pour la modélisation des émissions de leurs véhicules. Cependant, une séparation des modules est opérée pour le calcul des bruits. Ce modèle a été approuvé par l'EPA.

⁶¹ voir : <http://www.rotranomo.com>

2. La société TTK⁶² (Karlsruhe), filiale de PTV.

TTK est une société privée (GmbH), créée en 1996 à l'initiative d'une entreprise communale, l'AVG-VBK (VerkehrBetriebe), laquelle détient 45% des parts. La société PTV est devenue ultérieurement actionnaire en prenant 55% des parts de TTK. Ce cabinet d'études de taille modeste, comprend 25 salariés et se divise en deux départements : un département Infrastructures, avec près de la moitié des effectifs (12 personnes) et un département Economie, avec l'autre moitié des effectifs.

La première particularité de cette société est d'être à la fois détenue par une part majoritaire d'un grand groupe d'étude spécialisée dans l'énergie, les transports et l'ingénierie de trafic en général, et par une entreprise communale, AVG-VBK et donc publique. Cette particularité positionne TTK dans une sorte d'interface sur les marchés publics et privés relativement au domaine des infrastructures et des transports. Le développement de TTK repose essentiellement sur les activités d'études sur secteur ferroviaire.

Le cabinet TTK comprend essentiellement des personnels géographes, économistes ou du génie civil, sans disposer de spécialistes de la modélisation ou des mathématiques. Le responsable de développement des activités, Thomas Balsler, ingénieur de formation en géographie et économie, est directement rattaché à la direction de TTK. L'autre particularité de TTK est de recruter des ingénieurs dotés pour certains d'une double culture, notamment française et allemande, ou encore britannique. L'implantation d'agences en France permet de constituer des équipes bi-culturelles sur les collectivités.

De multiples études en ingénierie de trafic et d'approche socio-économique de la demande des déplacements urbains et péri-urbains ont été conduites non seulement sur le territoire allemand mais aussi en France. Nous relevons d'emblée des études menées :

- sur Nantes (étude de la tarification des transports publics)
- sur Angers (avec réception d'une délégation française à Karlsruhe)
- sur l'agglomération lyonnaise, avec principalement une étude sur la demande de TC sur Saint-Germain au Mont d'Or

Cette dimension européenne des interventions tient d'une part à la participation à des prestations amorcées par PTV, auxquelles TTK apporte une compétence spécifique en analyse de la demande de TC ou sur les études spécifiques Tram-Train. Ces études à grande échelle sont conduites par PTV. La société TTK poursuit des études de moindre envergure, soit individuellement soit en formant des consortium et groupement avec d'autres cabinets d'étude complémentaires. TTK a été consultée par l'Union européenne sur des normes visant à harmoniser celles prévalant sur l'ensemble des pays membres sur les véhicules (en lien avec les industries de l'automobile) et les infrastructures.

La modélisation ne constitue pas une activité majeure de TTK, le groupe PTV mobilisant des chercheurs et spécialistes en capacité de concevoir et développer ces outils. Par contre, pour les

⁶² Entretien avec Thomas BALSER, ingénieur TTK-KARLSRUHE ; <http://www.ttk.de>

besoins des études spécifiques telles que celles relatives aux dispositifs Tram-Train, TTK a été amenée à créer des modèles que nous nommerons « artisanaux » et sans perspective de développement ou de dépôt d'une marque.

Les compétences spécifiques telles que celles relevant de l'approche environnementale des déplacements sont sous-traitées à des cabinets spécialisés et partenaires. TTK bénéficie des travaux et résultats produits par PTV sur des domaines très pointus et nécessitant le traitement de données multiples et importantes en quantité.

L'une des spécificités de TTK en conseil et études est celle portant sur les systèmes Tram-Train. L'histoire de l'implantation de TTK à Karlsruhe s'accompagne de la première expérimentation au monde et mise en place d'un système Tram-Train en 1992⁶³. Le fonctionnement de ce système d'inter-modalité ferroviaire a nécessité des aménagements, des régulations (des trafics train et tramway), des dispositifs de signalisation, des normes de sécurité (des matériels roulants) et de formation spécifique des conducteurs.

Malgré cette position forte sur l'inter-modalité Tram-Train, TTK se trouve concurrencé par une multitude de petits cabinets d'étude en Allemagne (une quarantaine estimée). La France se trouve nettement moins occupée par les petites structures (en dehors de Alter-modal à Chambéry) mais surtout par quatre grands groupes d'ingénierie-conseil (SEMALY, SISTRA).

Les partenaires britanniques identifiés :

- MOTT (grand cabinet anglais)
- AEIT (concurrent de TTK), implanté en région de Londres, et porteur d'un projet Tram-train

3. La société AVISO (Aachen)⁶⁴ .

La société AVISO, dirigée par Arnold Niderau, est composée de 10 personnes permanentes, soit 6 ingénieurs (dont 2 en construction machines et véhicules, 4 ingénieurs de génie civil), 4 techniciens programmeurs informaticiens. Il n'y a donc pas de compétences en écologie, physique ou mathématique dans l'équipe.

Arnold Niderau, créateur d'Aviso, a une expérience de 20 ans dans les grandes entreprises d'ingénierie, telle que Heusch-Boesefeltt, société responsable des constructions et installations pour faciliter les flux de véhicules vers les autoroutes (entrées, sorties), avec recours à un logiciel de régulation de trafic pour augmenter la capacité de charge des axes (tels que des PMV, panneaux à message variable). Formé à l'école du génie civil RWTH (Aachen), équivalent des Ponts et chaussées en France, Mr Niderau a quitté son entreprise pour créer son propre cabinet d'étude AVISO. A cette première expérience en génie civil, s'ajoute celle d'une quinzaine d'années de pratique de

⁶³ TTK est reconnue pour l'expertise et le conseil (aide à la prise de décision) sur les systèmes de liaison Tram-Train, ce qui désormais attire l'intérêt des collectivités locales allemandes et françaises : Rennes, Lille, Haguenau (avec Alter-modal, cabinet d'études français), Strasbourg (projet Strasbourg 2020, interrompu pour des raisons politiques, avec projet de construction d'une ligne de tramway), Grand Lyon (étude sur 3ans), Sarrebrück, Kassel (depuis 20005), Glasgow (Ecosse, sur la tarification).

⁶⁴ entretien avec Arnold Niderau, directeur de AVISO ; <http://www.aviso-gmbh.de/>.

modélisation de la qualité de l'air, portant notamment sur les émissions atmosphériques d'origine routière, aérienne, ferroviaire, fluviale et industrielle. AVISO fait partie des sociétés et groupes en charge de la modélisation de la qualité de l'air des Länder, des Umwelt organisation (organismes dépendant des ministères de l'environnement du Nord-Rhein Westphalie, du Bade Wurtemberg, de Thüringen, de Saxe, de Saxe and Halt, de Bayern).

La capacité de la société AVISO tient à l'élaboration d'outils adaptés aux échelles des territoires : pour les grandes communes, un logiciel spécifique a été conçu pour la simulation du trafic urbain (VSS pour Verkhers Simulation System, déposé par AVISO et HHS, outil concurrent du VISUM de PTV), tandis qu'à l'échelle des mégapoles, un programme public allemand de recherche appliquée sur les consommations énergétiques⁶⁵ a retenu dix projets parmi lesquels ceux d'AVISO, des Universités de Duisburg et d'Essen, de la société SIEMENS et d'éventuels constructeurs industriels automobiles.

4. La société Wegener et Spiekermann (Dortmund)⁶⁶

La micro-firme S&W GmbH a été créée en 2001 par deux anciens enseignants - chercheurs de l'université de Dortmund, de l'IRPUD (Institut für Planung⁶⁷). Composée de ses deux créateurs, elle s'entoure d'étudiants (2 à 3) qui contribuent à la collecte de données et à la production de cartographies etc. Pour ces deux associés, il s'agit de rester à cette taille de structure et de coopérer et de s'associer avec d'autres micro-firmes, avec d'autres universitaires ayant créé leur entreprise pour proposer des services. Le départ en retraite du professeur Wegener a constitué le point de départ cette création, de façon à conserver les acquis universitaires. La société W & S est spécialisée en planification des transports, avec des travaux portant sur les effets environnementaux produits par la circulation et le trafic routier. La formation initiale en planification urbaine comprend des enseignements de physique, d'aménagement et d'environnement, d'économie et de sociologie. Michael Wegener est un architecte de formation, non praticien mais venu à la planification et à l'aménagement urbain des territoires. Dans l'avenir, il s'agira pour la cabinet d'études de s'appuyer moins sur des méthodes qualitatives que quantitatives.

⁶⁵ L'étude consiste à ramener la totalité de l'énergie consommée à NINGBO (ville de Chine, près de Shangai) à un niveau inférieur (toutes énergies confondues, d'origine transport, industrielle, habitat). AVISO est chargée d'étudier la consommation d'énergie par les véhicules.

⁶⁶ entretien avec Michael Wegener et Klaus Spiekermann

⁶⁷ <http://www.raumplanung.uni-dortmund.de>

5 Le cas spécifique du Wuppertal Institut (Wuppertal)⁶⁸

Après la conférence des Nations UNies sur l'environnement et le développement à Rio en 1992, le Land de Nord Westphalie et le Rhein Land ont apporté une aide financière pour divers projets contribuant à une approche globale de l'environnement. Depuis 1992, l'Institut Wuppertal élabore des études et des travaux en relation avec le changement climatique, en appréhendant les modes de production et de consommation énergétique d'une part, les diverses sources de production et d'utilisation dont les transports. C'est au travers l'analyse des flux de matières et d'énergie transitant sur les territoires que l'équipe de recherche procède à un examen des problèmes environnementaux, des effets immédiats et locaux. Les travaux, conseils et expertises, ainsi que les actions et applications portés par l'institut sont donc au niveau du Land. Une présence au sein des commissions européennes est assurée, ainsi qu'à certains colloques internationaux comme celui du Costa Rica actuellement (UNEP). Un projet de création d'une annexe de l'institut est en cours de réflexion.

Ce sont 150 personnes qui sont associées aux travaux et au projet du Wuppertal Institut, parmi lesquels des enseignants, des chercheurs (ingénieurs, biologistes, philosophes, écologues, mathématiciens, économistes, climatologues, physiciens....). Les équipes se forment par projets regroupant de multiples compétences sur quatre niveaux distincts que sont celui des collectes de données, de l'élaboration des scénarios et modèles, du management des matériaux et enfin de la formation, de l'enseignement et de l'éducation.

Pour la problématique des transports, l'équipe de l'Institut construit des scénarios de trafic, en menant des campagnes de comptage du nombre de véhicules, du nombre de km parcourus par personne par an, des volumes d'émissions des véhicules à l'échelle de territoires. Les questions posées peuvent être : combien de temps dure un véhicule ? A quelle cadence les nouvelles technologies entrent-elles dans les véhicules ? Combien d'autoroutes, de routes et de réseaux intra-urbains sont en voie de construction ? La recherche d'informations sur ces activités humaines (modes de transport, taille des populations, nombre de km parcourus par personne et par an) est suivie d'une saisie de ces données dans un modèle (TREMODO⁶⁹) qui calcule les émissions polluantes et les consommations d'énergie. Les productions à l'initiative du Wuppertal Institut sont en somme les enquêtes populations (questionnaires de type qualitatif et quantitatif), la modélisation des impacts sur l'environnement et une large diffusion des résultats de ces travaux à destination des décideurs publics, des acteurs économiques ou du grand public.

⁶⁸ Entretien avec Suzanne Böhrer et le professeur Schallabock ; site Web du Wuppertal Institut : <http://www.wupperinst.org/>

⁶⁹ TREMOD : Transport Emission Model. Il semble que ce soit l'IFEU qui ait construit TREMOD. En 1992, l'IFEU reçoit pour mission du ministère allemand de l'environnement d'établir un modèle nommé TREMOD.

V Les collectivités locales.

Rappelons d'emblée que le Bund a la responsabilité des autoroutes et routes fédérales, tandis que les Länder ont la responsabilité des routes du Länder. A un niveau inférieur sur le plan administratif, le Kreise a la responsabilité des routes départementales, les villes (stadt) de taille de population < à 80 000 habitants ont la responsabilité des axes urbains. Le comptage national quinquennal fournit ainsi une base de données de mesure mais sans aller à l'échelle des communes : c'est seulement en cas de problème à régler ou en cas d'un aménagement en projet (et encore seulement les rues principales) que des mesures sont prises, avec toutefois des données très médiocres. Du coup, l'accès aux données spécifiquement locales demeurent encore assez aléatoires pour l'établissement des bases de données et cartographies sur les infrastructures. Toutefois, les demandes spécifiques émanant des collectivités locales apparaissent progressivement dans les commandes d'études sur les flux de transport et l'estimation des externalités. La demande émanant des collectivités locales est soumise à quelques contraintes, parmi lesquelles nous relevons :

- **des limites budgétaires** quant à des commandes d'études ambitieuses et recourir aux services de sociétés « poids lourds » telles que PTV. En effet, l'acquisition des outils de modélisation tel que VISION, conçu et commercialisé par PTV constitue une contrainte en investissement. C'est donc vers des structures « légères » telles que TTK que les communes ou les Länder se tournent pour des prestations d'études locales. Les études consistent alors en une analyse de la demande en TC, de prévision de cette demande à la suite d'aménagement de lignes de TC (prévision de la future demande de passagers).

Les collectivités clientes sont généralement des communes disposant de données de trafic, de trajets domicile-travail, de distribution et densité de population sur leurs territoires ou de positionnement des établissements scolaires. La société TTK par exemple exploite ces données disponibles pour procéder à l'analyse puis à l'interprétation en vue d'établir des scénarios d'usage des TC. Une agence nationale allemande centralise en outre l'ensemble des données relatives aux liaisons domicile-travail.

Les trois principales sources d'information disponibles auprès des collectivités (positionnement des établissements scolaires, relations domicile-travail et densité –répartition des populations) viennent alimenter les modèles tels que celui conçu par la société d'ingénierie TTK.

De son côté, le groupe d'ingénierie PTV traitera les marchés pour des études de grande échelle de territoires et mobilisera des moyens importants pour le traitement des données (SIG, modèles spécifiques tels que VISSIM, VISUM, VISEM) avec une approche très détaillée des caractéristiques des territoires.

Se pose alors le problème des niveaux d'intervention entre PTV et TTK, du fait de frontières entre territoires et de ces échelles d'analyse : d'où des échanges et des négociations préalables sur les répartitions des études en fonction des compétences et des moyens à mobiliser.

La recherche publique ne se penche pas sur la spécificité des dispositifs d'inter-modalité tels que le tram-train, mais raisonne plutôt en terme global d'une offre de transports publics ou d'inter-modalité.

- des **limites méthodologiques et techniques** sur le volet de l'intégration de **données économiques**, sous la forme d'estimation des coûts/bénéfices relatifs aux projets d'infrastructures.

Cette contrainte exigée par les collectivités locales apparaît progressivement, devenant une opportunité pour les cabinets d'étude intégrant l'approche économique. Cette obligation a été suivie d'exigences de procéder ou de faire procéder à cette estimation sur la base d'une méthodologie unique, désormais prévalant et bien connue, la Stadtartisiert Bewertung für Investigation für die verbesserung der Verkherhältnisse in den Gemeinden ». Cette méthode a été proposée par le cabinet Inter-plan (GmbH à Munich) suite à un appel d'offre public national. Ce modèle a été validé et retenu par le BUND pour toute étude d'analyse de la demande de TC avec interconnexion ou changement de mode de transport. L'estimation des coûts/bénéfices dans la prévision de la demande fait partie intégrante de l'étude.

- une exigence forte en matière d'intégration des **coûts environnementaux** dans ces études d'estimation des coûts/bénéfices de la demande de transport. En effet, la méthodologie mentionnée ci-dessus (la « Stadtartisiert Bewertung für Investigation für die verbesserung der Verkherhältnisse in den Gemeinden ») exige la prise en compte des coûts environnementaux, notamment du bruit et des émissions de CO². Le calcul d'un taux de CO² permet d'estimer un coût en euros, à raison de 400 euros / tonne de CO². La réduction du taux de CO² émis par an par kilomètre est comptabilisé au titre des bénéfices.

C'est à ce niveau que les aides publiques à la recherche en modélisation sont conséquentes : la contribution du BUND aux aménagements des Länder et autres collectivités locales (communes) comporte une aide budgétaire importante à hauteur de 80% sur les investissements sur démonstration des coûts/bénéfices économiques et écologiques afférents (CO²). D'où la nécessité pour les cabinets d'étude de procéder à la modélisation des trafics intégrant les coûts/bénéfices économiques et écologiques.

Les cabinets d'étude de petite taille ou dont la capacité de modélisation ne s'étend pas à l'intégration des aspects environnementaux, font appel aux compétences de cabinets d'étude spécialisés en analyse environnementale (ACV, calcul des externalités etc), tels que la société Mailander Ingenieur Consult à Karlsruhe (sous-traitante pour TTK).

La demande de modélisation de la qualité de l'air, portant notamment sur les émissions atmosphériques d'origine routière, aérienne, ferroviaire, fluviale et industrielle émane de façon récurrente des collectivités locales et des ministères. A cette demande, des sociétés privées en ingénierie des trafics et des infrastructures, telle que AVISO à Aachen, ont intégré la dimension environnementale dans la conception des outils de modélisation. La modélisation de la qualité de l'air des Länder, des Umwelt organisation (organismes dépendant des ministères de l'environnement du Nord-Rhein Westphalie, du Bade Wurtemberg, de Thüringen, de Saxe, de Saxe and Halt, de Bayern) est devenue une prestation désormais courante fournie par AVISO par exemple, les contrats étant passés soit de gré à gré soit sur appels d'offre publics. L'obtention de ces contrats est en grande partie due à la renommée de la société AVISO, de Arnold Niederau, lui-même et de l'outil logiciel existant et expérimenté sur deux à trois Länder (Nord-West-Whestphalie, Thüringen, Badwurtemberg).

Parmi les communes allemandes les plus en vue en matière de politique environnementale et de réduction des impacts relatifs aux transports motorisés, notons d'emblée celles citées par les principaux cabinets d'étude privés et laboratoires universitaires consultés.

- la ville de Stuttgart
- la ville de Karlsruhe

Si la ville de Stuttgart, forte de près de 600 000 habitants, est réputée pour une industrie historiquement ancrée sur son territoire, à savoir celle de l'automobile. Les noms de Carl Benz, de Gottlieb Daimler, de Wilhelm Maybach, de Ferdinand Porsche laissent bien entendre qu'il s'agit d'un fief des grandes familles industrielles dont les noms sont désormais associés à de grandes marques de voitures allemandes. Mais l'une des caractéristiques de cette ville de la vallée du Neckar et capitale du Bade-Wurtemberg tient pour nous à la politique environnementale menée localement. En effet, la municipalité présente une spécificité en matière de compétence au sein de ses services : un véritable travail de conception en modélisation y est entrepris. Cette démarche tient en particulier à la présence d'un professeur et chercheur universitaire à la direction du département Environnement de cette ville. Le professeur Baumüller, spécialiste en climatologie et environnement, assure cette double fonction publique. La composition de l'équipe de ce département municipal est assez diversifiée en termes de compétences puisque comprend des ingénieurs météorologues, physiciens, géographes, ingénieurs de la planification urbaine et techniciens informatiques. Les deux principaux travaux de ce département municipal concernent la lutte contre le bruit et la prévention de la pollution atmosphérique et la réduction des gaz à effet de serre.

Le recours à la modélisation par le service est quasi systématique et fait l'objet d'achats de modèles existants sur le marché. Ces modèles sont ensuite adaptés pour les besoins du service de la ville. Il se trouve aussi qu'une conception de modèles spécifiques est effectuée du fait du rapprochement entre l'université dans laquelle exerce le professeur Baumüller et son équipe municipale.

La ville dispose de véhicules de mesure de la qualité de l'air à Stuttgart. Le service est chargé notamment de la planification urbaine en intégrant les paramètres que sont ceux relatifs aux émissions sonores prévisibles, aux impacts sur le changement climatique et sur la qualité de l'air. L'application de ces modèles porte sur la planification des aménagements urbains, des constructions des bâtiments. Par exemple, une modélisation des orientations des vents, avec des paramètres de « force des vents » et des directions suivies permet de délimiter des « canaux de vent » et le passage en ville. Pour le traitement de la qualité de l'air, il se trouve que la ville de Stuttgart a initié un programme de lutte contre les nuisances et pollutions de l'air, devenant une ville pilote à l'échelle européenne, avec les villes de Burgos en Espagne, de Cracovie en Pologne et de Gênes en Italie. Ces villes sont tenues de proposer des mesures à appliquer pour réduire ces nuisances. Dans le cadre de cette politique environnementale, deux manuels⁷⁰ ont été réalisés par le service la ville de

⁷⁰ « Städtbauliche Lärmibel », Hinweise für die Bauleitplanung" à consulter sur le site www.staedtebauliche-klimafibel.de; Le « Städtbauliche Klimafibel" consultable sur www.stadtklima-stuttgart.de

Stuttgart afin d'appliquer des recommandations en matière de construction et d'aménagement urbain sur la base des résultats des études de plans de la ville et des expositions aux nuisances (bruit, pollution de l'air). Des campagnes de sensibilisation et de communication auprès de la population sont aussi menées parallèlement, avec un accès aux données en temps réel des résultats de mesure en milieu urbain sur l'agglomération de Stuttgart.

VI Les partenariats scientifiques et de recherche.

Nous avons relevé les grandes proximités établies entre chercheurs universitaires et sociétés privées d'ingénierie des transports. Ces relations se présentent sous forme de partenariats de recherche sur des appels à projets publics émanant des collectivités locales, des ministères ou enfin inscrits dans des programmes européens. Il peut s'agir en outre de doubles activités entre enseignement universitaire et activités d'ingénierie dans un cabinet d'étude, ou enfin de placement de chercheurs (recrutement) au sein de ces sociétés privées. Nous avons déjà observé cette tendance au Canada, sous la forme de création de Spin-off, filiales privées destinées à la valorisation et commercialisation des produits de la recherche. En outre, il faut mentionner le cas spécifique de la ville de Stuttgart, laquelle a intégré à la direction du service Environnement un professeur spécialisé en climatologie, nous l'avons vu ci-dessus.

De son côté, le laboratoire « Economie et environnement » de l'**Université de Karlsruhe**, dirigé par la professeur Rothengatter, a engagé des partenariats selon un processus classique de relations établies à partir d'affinité humaine puis s'étendant à des relations collégiales au fil du temps. Les relations s'établissent en fonction de la nature du projet et des approches. En matière d'approches complémentaires, l'exemple du partenariat entre l'IWW et une équipe néerlandaise (NEA⁷¹) est significatif quant à la démarche : l'équipe allemande s'appuie sur l'identification de populations exposées et l'évaluation des risques sanitaires par individu, tandis que les Néerlandais se penchent plutôt sur les transports de biens et de marchandises (fret). Le réseau des partenariats s'étend depuis les universités (Université de Kassel, Université de Aachen avec le professeur Beckman) et instituts allemands (PTV, IFW, Institut für Verkehr Wesen ou IFV) jusqu'à ceux de l'Europe (France avec Christian Raynaud de l'INRETS, l'INFRAS de Zürich, NEA des Pays-Bas, TRT en Italie (ayant développé ASTRA Model⁷²), ISIS en Italie pour l'évaluation des coûts externes, l'Université de Cambridge, l'IPTS en Espagne, Institut Prospectiv Technology). Un programme tel que le TEN-STAC

⁷¹ cf site Web : <http://www.nea.nl/english/services/servicesframe.html>; NEA est une société indépendante néerlandaise de consulting, recherche et formation dans le domaine des transports (trafic, infrastructure et logistique) ; Forte de 85 consultants, intervenant à l'échelle internationale, NEA a conçu et développé une série de modèles : de prévision pour les TC, de coût et de tarifs des TC, de navigation intérieure, d'itinéraire et d'intermodalité. Parmi ceux-ci, citons le modèle de prévision TEM, basé sur des écoulements de transport de fret observés en 1992 (par origine, destination, mode de transport, type d'écoulement de fret, de mise en récipient et de transport). Les bases de données sont également employées comme entrées pour des modèles tels que SMILE/lms, NRM et PACE-FORWARD.

⁷² modèle développé dans le cadre du programme de recherche européen ASTRA, Assessment of Transport Strategies, entre octobre 1997 et novembre 2000 ; coordinateur : IWW (Institute for Economic Policy Research, University of Karlsruhe) ; partenaires : TRT, Trasporti e Territorio Srl, Milano (I) ; ME&P, Marcial Echenique & Partners Ltd, Cambridge (UK) ; CEBR, Centre for Economics and Business Research Ltd, London (UK) ; voir site Web : <http://www.iww.uni-karlsruhe.de/astra/index.html#info>

program⁷³ favorise en outre ces rapprochements institutionnels et des collaborations scientifiques multi-partenariales.

Les programmes de recherche fédérale sont aussi des opportunités pour ouvrir ou renforcer des partenariats scientifiques entre laboratoires universitaires publics et organismes privés. Le cas du projet de modélisation des itinéraires alternatifs par l'analyse fine des changements de comportements en situation contrainte (congestion des réseaux) est un exemple significatif : il réunit 6 partenaires que sont l'IFV, l'IWW, la société PTV, l'Institut de Recherche en Informatique (IID), un institut financé par l'état fédéral, chaque institution partenaire étant représentée par au moins deux personnes. Pour une compétence absente au sein d'une équipe de recherche, il s'agit de procéder à des partenariats avec les universités ou sociétés identifiées pour apporter cette compétence : par exemple, l'IFEU⁷⁴ de Heidelberg deviendra un partenaire de l'IWW pour intégrer les aspects environnementaux (concernant toutes les émissions de polluants).

L'université de Karlsruhe coordonne de multiples partenariats scientifiques sur des projets de recherche tels que :

- **OID**⁷⁵, dirigé par le Professeur Dr. Werner Rothengatter de l'IWW (Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung), et réunissant des équipes universitaires allemandes issues de l'IFV (Institut für Verkehrswesen), l'IFL (Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme), l'IPD (Institut für Programmstrukturen und Datenorganisation), ainsi que des partenaires privés tels que l'IITB de Karlsruhe (Fraunhofer Institut Informations und Datenverarbeitung), PTV-AG, LOCOM Consulting GmbH de Karlsruhe.
- **German Mobility Panel**⁷⁶ : depuis 1995, un programme de mesures de changement de la mobilité en Allemagne a été lancé, équivalent du programme PARC-AUTO en France. La voiture constitue la base des études en France (Parc auto), à la différence de l'approche allemande, laquelle s'appuie sur les usagers (effectif, catégories de population). Sur ce programme, l'INRETS (Panel, Parc Auto), le Polytechnische Institute de Zürich, un laboratoire autrichien et de Hongrie (Tchécoslovaquie) participent à ces travaux.

Une difficulté des rapports établis entre les pays membres de l'union européenne, tient notamment à une exigence d'appréciation inter-culturelle : ainsi, les programmes européens de recherche insistent-ils sur des analyses étendues et fines des comportements par population, ce qui revient à vouloir expérimenter des modèles sur plusieurs cultures. Cette contrainte dans les modalités d'approche et de collecte des données peut faire la différence entre les laboratoires des pays membres.

⁷³ TEN-STAC (**S**cenarios, **T**raffic Forecasts, and **A**nalyses of **C**orridors on the Trans-European Transport Network; associant les laboratoires et cabinets d'ingénierie européens sur une approche par « corridors » d'infrastructures : [NEA](#), [COWI](#), [IWW](#), [NESTEAR](#), [PWC](#), [TINA](#), [IVT](#), [HERRY](#), [Mkmetric](#).

⁷⁴ l'Institut de recherche énergétique et environnementale ; Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH.

⁷⁵ Organisationsfähigkeit im Verkehr durch I+K-gestützte Dienste ; voir site Web : www.ovid.uni-karlsruhe.de;

⁷⁶ voir article détaillé de Zumkeller, Lipps, Chlond sur : http://mobilitaetspanel.ifv.uni-karlsruhe.de/downloads/Grainau_1997.pdf

Pour une collectivité locale telle que la ville de Stuttgart, le rapprochement avec l'univers de la recherche universitaire est facilité par les apports de compétence et recrutements des personnels municipaux (cas du service Environnement dirigé par le professeur Baumüller de l'université de Stuttgart, du professeur Ulrich Vogt). Ces partenariats peuvent s'établir sous la forme de postes à temps partagé entre un enseignement en université et un temps au sein du service municipal. Le professeur Baumüller assure un enseignement en climatologie et environnement à l'université de Stuttgart. Parmi les partenariats entretenus entre la ville et le monde universitaire, il faut mentionner :

- l'Institut Technique de Stuttgart
- L'institut de météorologie de Fribourg
- L'université de Essen, avec le professeur et climatologue Kuttler.

Il est vrai que les problématiques « changement climatique » et « pollution de l'air » mobilisent très sérieusement la ville de Stuttgart. Le projet de recherche appliquée REKLIP⁷⁷, portant sur le fossé Rhénan méridional, entre France et Allemagne, associe les universités de Strasbourg, de Kassel (Professeur Katschner, à l'université), de Zürich, de Toulouse et de Paris VII. Un séminaire se tient tous les 3 ans entre ces partenaires de la recherche pour définir les outils de modélisation mis à disposition en matière de météorologie entre municipalités et universités.

Les sociétés d'ingénierie allemandes sont aussi très présentes sur les programmes de recherche et n'hésitent pas à former des partenariats avec les universités les plus en vue sur la problématique ou par les compétences avérées. Les programmes européens sont par ailleurs des opportunités à la fois d'identifier des compétences et de se faire identifier. C'est le cas du cabinet AVISO de Aachen, lequel s'est inscrit dans le projet européen ISIS avec le LET (Charles Raux, Y.Crozet). L'implantation quasi frontalière de la ville d'Aachen (Aix-la-Chapelle), ou de Karlsruhe, contribue à des échanges facilités par une double culture ou une pratique de la langue française. D'où des contrats passés avec des sociétés françaises en aménagement urbain ou d'exploitation d'infrastructures routières, comme dans le projet allemand PPP (public partnership (Rostock, Bouyghes, Lyon, Marseille, SAPPR-Paris-Rhin-Rhône) ou dans celui de Qualité de l'air avec l'Institut Alsace, ou enfin pour l'évaluation de la qualité de l'air sur le contournement sud d'Albi (en relation avec le CETE-Est de Metz). Il est vrai aussi que plus nous nous éloignons du bassin de la Ruhr, et plus cette capacité à former des groupements de recherche multi-partenaires franco-allemands tend à se dissiper. Mais nous retiendrons une caractéristique forte de cette ingénierie allemande, à savoir une propension explicite à décliner des partenariats publics-privés et des passages aisés d'une structure à l'autre. Le Wuppertal Institut, bien connu des autres instituts et cabinets d'ingénierie en environnement (cabinet d'étude de planification BAIER à Aachen, cabinet HARLOFF & HENSEL), a engagé des échanges fructueux non seulement avec la ville de Wuppertal mais aussi avec l'université de Aachen, formant des doctorants sur les problématiques environnementales. En outre, des coopérations ont été établies par le Wuppertal Institut avec

l'Institut environnemental de Delft et celui d' Utrecht, ainsi qu'avec un Institut japonais sur un projet spécifique. Enfin, il faut souligner la collaboration avec l'université de Berkeley pour la conception et la diffusion du modèle ASIF⁷⁸ sur les Structures Intensity Fuels Efficiency (modèle de projection sur 2050 des stocks, trajets et consommations d'énergie par les véhicules, tous modes, sur la base de nombreux d'indicateurs et sur plusieurs continents.

Ce récapitulatif, non exhaustif toutefois, des partenariats de recherche établis entre les acteurs de l'ingénierie Transport / Environnement, sur la base de travaux de modélisation des impacts environnementaux liés aux transports routiers, nécessite désormais de dresser une typologie des modèles développés. Dans le paysage étendu et complexe de cette ingénierie de la modélisation, à l'interface des problématiques de transport et de l'environnement, il s'agit de clarifier quelque peu les domaines de modélisation ainsi que les spécificités techniques les caractérisant.

VII Typologie des modèles Transport / Environnement

Dans ce chapitre, nous proposons d'établir une typologie provisoire des modèles repérés à l'occasion des entretiens réalisés et des recherches complémentaires menées sur le Web. Nous distinguerons ainsi 4 grandes familles de modèles, à savoir :

- a. Modèles de géo-spatialisation des trafics : de simulation de trafics, de planification et de type « Land-Use ».
- b. Modèles de prévision des comportements des usagers des réseaux, ne prenant pas en compte l'environnement, mais étant plutôt des modèles d'optimisation de trafic qui peuvent entrer en input de modèle environnementaux.
- c. Modèles de prévision des émissions de nuisances sonores
- d. Modèles de prévision des émissions de pollutions atmosphériques

a. Modèles de géo-spatialisation des trafics

La géo-spatialisation des trafics et flux de véhicules sur les réseaux et infrastructures routières en Allemagne constitue une constante technique dans les travaux des laboratoires et cabinets d'ingénierie des transports consultés. Il s'avère que le recours aux Systèmes d'Information Géographique est quasi systématique. C'est ainsi que la majorité des entretiens menés ont fait l'objet

⁷⁷ REGIO - KLIMA – PROJEKT, projet climatologique de la Région Trinationale du Rhin supérieur (France, Italie, Suisse, Allemagne) ; participation d'environ 20 groupes de chercheurs des universités, des autorités et d'entreprises privées pour le relevé et l'évaluation de données sur le climat régional.

⁷⁸ modèle ASIF : **A**ctivity (passenger and freight travel) , **S**tructure (travel shares by mode and vehicle type), **I**ntensity (fuel efficiency), **F**uel type = fuel use by fuel type (and CO2 emissions per unit fuel use); porté par le WBCSD's Sustainable Mobility Project (SMP), cette agence développe un [global transport spreadsheet model](http://www.wbcd.org). Voir aussi le site du WBCSD (World Business Council for Sustainable Development): <http://www.wbcd.org>

de présentations de simulations des trafics routiers sur des cartographies de territoires, autant du côté des laboratoires universitaires que des sociétés privées. Cette visualisation dynamique résultant à la fois d'une représentation cartographique des réseaux d'infrastructures existantes et d'une application des données de simulation des trafics (sur l'état actuel de fréquentation ou par projection sur le long terme) a le mérite de favoriser les échanges sur la base des travaux en cours. Ensuite, cet exercice est de portée très pédagogique pour les non-experts, permettant notamment d'explicitier et de rendre visuel ce qui relève de tables de calculs, d'algorithmes et de recours à des paramètres souvent très abstraits. Enfin, la question des échelles géographiques d'application des modèles a fait l'objet de maints débats dont nous allons tenter de retracer les étapes. La société PTV s'appuie ainsi sur une représentation géographique déclinée en 4 niveaux d'échelle décroissante auxquels se réfèrent les modèles :

- ceux reposant sur des **critères de choix de destination** (modèle SPLIT⁷⁹), consistant à étudier chaque cellule géographique des origines et destinations des axes de transport. Ce modèle repose sur le nombre de véhicules par axe et par jour.
- Ceux **d'ordre macro-économique**, tel que ASTRA Vehicle fleet, modèle de trafic, où les critères sont ceux de débit et d'effets produits, ce qui a contribué à l'établissement d'une norme européenne.
- Les modèles **d'échelle inférieure**, tel que le REGIO-SUSTAIN, lequel repose sur des données plus précises de **trafics locaux sur les liaisons domicile-travail**. L'information géographique comprend les tailles et densité de population, les aspects climatologiques, la nature des matériaux des revêtements de chaussée (CORINE). Grâce à CORINE, il est possible de répartir les populations par taille de densité par zone géographique. Le REGIO-SUSTAIN doit être distingué du CITY-SUSTAIN.
- Le CITY-SUSTAIN est un modèle d'échelle inférieure et délimitant des zones de moindre taille, avec moins d'entrées que REGIO-SUSTAIN mais plus précises. En effet, **les distances entre bâtiments**, les **niveaux d'isolation des bâtiments** sont des paramètres pris en compte. L'entrée des résultats de CORINE permet d'avoir des paramètres sur l'occupation des sols, pour distinguer les zones habitables des zones forestières, non construites etc.

Deux autres modèles, non topographiques, sont exploités par PTV, à savoir :

- le **modèle TEN**, pour Trans European Networks, lequel permet de travailler sur des axes précis sur une distance de 10km, avec des données sur les abords jusqu'à 2 km de largeur. Mais ce modèle très général ne requiert pas de données topographiques, à la différence de CITY-SUSTAIN et REGIO-SUSTAIN.
- Le **modèle MOSCA** a été conçu et développé dans le cadre d'un partenariat entre l'IWW et le PTV. Cette dernière a été chargée de mener les études de mesure intra-muros à Stuttgart. L'IWW a comptabilisé la population dans cette région. Le découpage a été effectué par blocs

⁷⁹ En 1974-5, le Dr J. Edward Anderson a lancé une étude sur les solutions de recharge de franchissement du Colorado par les transporteurs routiers. Sa tâche principale était de surveiller et d'aider directement les transporteurs aux Etats-Unis, James McLynn et Gordon Schultz. La méthode employée est basée sur un prétendu "modèle de logit." En utilisant les coefficients

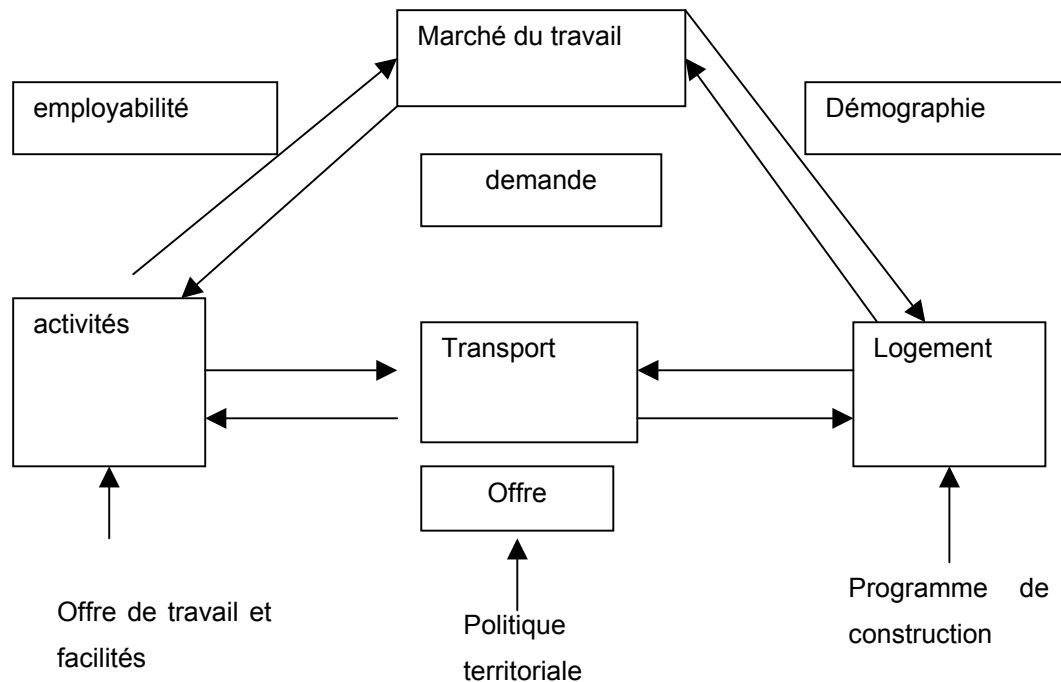
de rues et de proche en proche une évaluation de la population exposée a pu être réalisée. Une banque de données a permis d'effectuer des calculs de concentrations de gaz émis, ce qui a permis une extension du programme.

Un tableau synthétique permet de différencier ces quatre principaux niveaux d'appréhension des trafics sur les réseaux.

SPLIT	REGIO SUSTAIN	CITY SUSTAIN	TEN SUSTAIN
Points cartographiques	Echelle locale mais plus large que CITY	Très détaillé	Très général
Origine-Destination	SUSTAIN	Zonage de tailles basses	Pas de topographie
Axes de transport	Topographie	Critères précis	
Nombre de véhicules par axe et par jour	Nature du revêtement routier	Structure des bâtiments	Application de CORINE pour l'évaluation de l'exposition de la population
Débit des flux	Application de CORINE	Distances entre bâtiments	
		Niveau d'isolation des bâtiments	

L'équipe du cabinet d'études Wegener & Spiekerman élabore de son côté des modèles d'accessibilité, de prognose (susceptible donner un pronostic, synonyme de « To give a pronostic »), d'application à l'échelle régionale (pour les programmes européens) avec intégration des effets induits par les politiques d'aménagement, de cartographies (visuels) nécessairement basés sur des GIS (système d'information géographique). Les modèles programmés en langage Fortrans sont conçus de manière à aller chercher spécifiquement les informations du GIS (ARC-VIEW, MAPPY). Le modèle IRPUD développé par Wegener et Spiekerman dans les années 80, s'appuie sur des données démographiques, d'employabilité (en fonction de l'offre du marché du travail), de l'habitat (en fonction de l'offre de logement) et des politiques d'aménagement du territoire. Un graphique permet d'exposer l'intégration de ces 4 sources de données dans le modèle.

employés par des professionnels du transport, il a développé un tel modèle pour une « ville carrée générique ». Voir site Web de la société américaine SKYWEBEXPRESS : <http://www.skywebexpress.com>



La spécificité de PROPOLIS / IRPUD relève du fait que sont comptabilisées les évolutions dans le temps alors que tous les autres modèles font des points (des arrêts sur images) à des dates précises mais pas en continu. La connaissance du pourcentage d'enfants par famille peut se faire par un modèle démographique très détaillé sur la base d'une collecte détaillée des données auprès des administrations locales. Même chose pour le chiffrage de la population dans la tranche d'âges supérieure à 60 ans. L'application de cette modélisation sur la ville de Dortmund a consisté à établir des cartes de réseaux de transport (voies et modes), de densité de population et de son évolution entre 1970 et 2030 (prévision et projection sur les 25 ans à venir), avec la prise en compte des mouvements de population. Des scénarios de politique territoriale sont classés et structurés de la manière suivante :

- niveau 111-112 : Infrastructures
- 211-219 : PKW Kosten
- 221-222 : Park Kosten (coûts de stationnement)
- 231-232 : Immenstadt Maut (taxes diverses)
-Geschwindigkeit (vitesse)
-OPNV-Reisezeiten (temps de parcours)
-Flächnutzung
-Kombinationszenarien

Les modèles urbains déclinés au travers de ces scénarii permettent de présenter les dangers de certains aménagements si rien n'est entrepris : un modèle urbain densifié (forte concentration urbaine) permet de conserver des espaces libres en dehors du périmètre d'activité mais tend à accentuer certaines nuisances auprès des populations dans la proximité ; un modèle urbain dispersé voit un étalement des axes de desserte et donc d'allongement des durées de trajets. Or un scénario doit

intégrer la montée des coûts de carburant et de l'énergie. Pour renforcer les arguments en faveur d'un scénario d'aménagement urbain dans une perspective de long terme, le recours à trois évaluations complémentaires est proposé :

- Une évaluation environnementale : Bewertung Model, avec 4 thèmes (qualité, ressources naturelles, pollution de l'air, changement global ou climatique)
- Une évaluation sociale : santé, hygiène et croissance, droits et conformité, accessibilité
- Une évaluation économique : cours des matières premières dont énergies

Le modèle du projet **PROPOLIS**⁸⁰ (Planing and Research of Policies for Land use and Transport for Increasing Urban Sustainability) est le plus significatif quant à la méthode proposée par W& S Gmbh. Ce modèle permet d'appréhender la question de la planification des transports au regard des aspects énergétiques, environnementaux et de durabilité à l'échelle des territoires. Les objectifs de cette recherche consistent à développer une méthode pertinente pour l'aménagement et la politique des transports, de définir des stratégies de développement des villes en prenant en compte les développements sur le long terme. Le système du modèle PROPOLIS repose sur une recherche des effets sur le long terme. Les modèles de planification (dits de Land-use, avec des interrogations du type « où habitent les personnes ? où travaillent-elles ? où se rendent-t-elles ? ») sont articulés avec les modèles de transport (Verkhers models) (par quels moyens se déplacent les individus ?). L'originalité tient à la relation établie entre l'utilisation de l'espace (par les infrastructures existantes) et les modèles de transport. Ce système repose aussi sur l'idée de ne pas tenir compte de où, quand et comment on se déplace. La modélisation de ces facteurs a été établie avant PROPOLIS. Par contre, il s'agit de donner une définition des politiques. L'intégration avec le GIS permet d'aborder les facteurs environnementaux.

Le travail repose ensuite sur une représentation graphique du terrain : définition d'un zonage des territoires, collecte des données sur ces zones, recours aux modèles de transport terrestre et modèles des impacts environnementaux. Trois options se présentent alors aux chercheurs, entre une approche globale, zonale ou combinant les deux :

- une approche de « no spatial disaggregation » pour caractériser le transport mais ne permettant pas de calculer les émissions ou immissions (données trop grossières, avec large maillage des zones)
- une approche « spatial disaggregation of input », basée sur des données fines des zones (maillage fin), avec micro-simulation du modèle de transport routier et un modèle d'impact environnemental détaillé. Le feedback entre modèle d'impacts environnement et modèle de micro-simulation du transport routier est présent dans le projet ILUMAS.
- La 3^e possibilité est celle de l'approche dite « spatiali disaggregation of output », combinant les deux modèles précédents par le moyen du RASTER Modul dans PROPOLIS. Ce Raster Module, une fois constitué peut être utilisé pour le second système et permettre d'offrir une vision globale ou une vision plus localisée.

⁸⁰ article accessible en ligne sur : <http://www.suburbansolutions.ac.uk/DocumentManager/secure0/M%20WEGENER-background%20paper-Modelling%20urban%20sustainability.pdf>

Par exemple, un Raster Module a été développé pour la Ville de Dortmund, avec application pour la ville à partir du calcul des petites cellules et répartition des populations (échelles de couleurs par densité de population ou nombre d'habitants / hectare). La cellule choisie est de 100 m x 100 m. Ce sont 200 000 cellules qui permettent de couvrir l'ensemble du territoire. Il est possible de mesurer les effets de la politique urbaine sur la répartition de la population (effet de dispersion ou de concentration). Cette approche permet de répondre à la problématique suivante par exemple : quel taux de la population serait concernée par les effets d'un aménagement de création d'un axe routier ? »

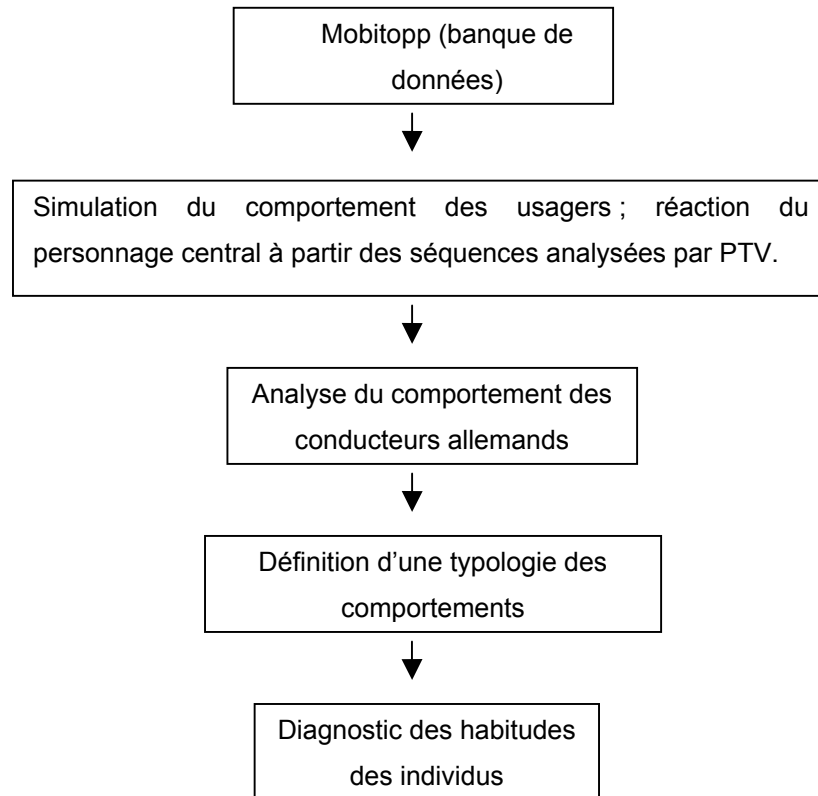
b. **Modèles de prévision des comportements des usagers des réseaux**

- Si les systèmes d'information géographiques servent quasi systématiquement dans les travaux de recherche en modélisation, suscitant l'intérêt variable des collectivités locales en fonction de leur taille, de leur politique de transport ou de leurs capacités techniques d'y recourir, la problématique des choix d'itinéraires pour les usagers reste encore au stade exploratoire. Cette différence nette avec les travaux anglais et japonais mérite toutefois que l'on s'arrête sur une étude en cours au sein de l'IFV de Karlsruhe. Le projet de recherche, dirigé par le professeur Zumkeller, portant sur "la simulation des déplacements et de réponses à des informations par des changements d'itinéraires" présente l'intérêt de modéliser les comportements d'usagers en situation de déplacement en fonction des informations fournies en tant réel sur l'état du trafic. Cette modélisation comprend plusieurs niveaux d'intégration des données :
- le MOBITOPP⁸¹, banque de données sur les projets de trajet (liaisons domicile-travail, panel de mobilité allemande, développé par l'IFV) et modèle de simulation des comportements de déplacements.
- le modèle VISSIM de simulation des trajets (mis au point par PTV), lequel établit la typologie des trajets
- le modèle VISUM permet d'intégrer des trajets alternatifs à ceux observés chez les individus
- Au final, une simulation des situations de congestion et de fluidité des axes de transport routier permet d'informer les usagers via VISUM sur les alternatives possibles pour éviter ces phénomènes de congestion. Chaque personne perçoit une information personnalisée dans son véhicule, une information microscopique sur un tronçon du parcours lui étant transmise.

Les 3 composantes de ce système sont réparties suivant leurs fonctions :

- modèle de planification (Plannungs Modell) qu'est VISUM
- modèle de simulation des comportements qu'est MOBITOPP
- modèle de circulation et de gestion des trafics qu'est VISSIM (Verkhers Modell)

⁸¹ voir sur site : <http://mobitopp.net/>



L'information est prise en compte par seulement quelques conducteurs. La problématique est : « comment les usagers réagissent-ils à cette information sur l'état de congestion de la route ? Prennent-ils un nouvel itinéraire ou conservent-ils le même ? » Le système complet repose ainsi sur 3 niveaux : l'analyse des comportements humains, l'analyse de l'état du trafic, un système d'information sur les itinéraires. Le lien entre ces informations repose sur la partie centrale qui régit le comportement des hommes en véhicule, lequel a un effet sur l'environnement. La vision allemande est que les problèmes d'environnement dépendent des comportements individuels. Le système permet une extrapolation des comportements, allant des réactions riches à celles plus pauvres (minimales) dans un panel de trajets et de choix d'itinéraires. Les chercheurs peuvent aller très loin dans l'analyse :

- individuelle
- par catégorie de véhicule piloté (polluant, non polluant)
- orientation possible chaque catégorie de véhicule

Le système complet permet d'examiner les effets sur les comportements humains mais aussi sur les charges sur les axes de circulation. La question centrale reste celle : « comment informe-t-on l'individu au volant ? Faut-il recourir à un ordinateur de bord ? » Il faut alors distinguer l'analyse des comportements humains (travail de l'IFV) de la modélisation de trafic (conduite par PTV). Le débouché de l'analyse est de mesurer les impacts environnementaux en fonction de ces comportements individuels.

Les composantes de ce modèle (3 VISUM, MOBITOPP, VISSIM) fonctionnent chacune indépendamment, et les premiers essais et réglages sur leur fonctionnement coordonné s'effectuent le jour même de cet entretien. Le panel de population retenu est de 2 millions d'individus mobiles (conducteurs ou non). La simulation s'appuie sur une expérimentation durant une semaine auprès de la population, sur la base des motifs de déplacement et des moyens de déplacement. Un code couleur permet de distinguer sur le graphique de simulation des déplacements les véhicules individuels (en rouge) des véhicules collectifs (en bleu). Ce travail répond à une commande du Ministère des Transports, la demande étant celle d'une analyse des réactions des habitants en fonction de coût et effets sur des itinéraires non prévus.

L'équipe de recherche procède à un examen empirique des comportements significatifs, tels que ceux consistant en une réaction à une information sur un point de congestion ; La réaction peut être relative à une contrainte horaire de dépôt des enfants à l'école, ou d'un livreur en face d'un évènement sur l'itinéraire.

L'échelle de l'étude est celle de l'axe reliant Mannheim à Karlsruhe, sur un diamètre de 20 km. La carte détaillée de ce territoire permet d'observer un effectif de personnes se déplaçant à la minute près au niveau des cellules de quadrillage. Après 2 années et demi de travail effectué, la recherche en est au stade d'évaluation du trafic. Une possibilité d'étude prospective sur les flux de trafic des véhicules individuels et collectifs est ouverte, sans que l'intégration des coûts environnementaux dans l'avenir puisse être garantie.

Le système mis au point ne s'applique qu'à l'échelle du territoire urbain et inter-urbain, pas à l'échelle de l'Allemagne. Ce système pourra servir pour effectuer de la régulation des trafics sur ces axes inter-urbains en apportant des informations aux usagers sur l'état des trafics et sur les alternatives d'itinéraires.

Des simulations d'accidents, d'épisodes et d'évènements ponctuels sur ces axes, ou de phénomènes plus réguliers (congestions récurrentes) sur les réseaux sont effectuées. Aucune donnée météorologique (neige, pluie, brouillard...) n'est intégrée dans ce système.

La modélisation microscopique est celle la plus avancée à l'heure actuelle pour le transport des personnes, mais celle portant sur les transports de marchandises va être engagée prochainement. L'innovation de cette recherche, unique en Europe, tient à l'articulation entre ces 3 composantes dans une même application.

c. Modèles de prévision des émissions de nuisances sonores

C'est au sein de l'Etablissement public allemand de recherche, le Centre BAST⁸², que la recherche en modélisation des impacts sonores a fait l'objet des apports les plus conséquents. En effet, cet organisme de recherche tend à concevoir, expérimenter et évaluer l'utilisation de modèles sur la diffusion et la propagation du bruit. Le BAST est en charge de proposer des solutions dans les constructions de nouvelles voies de transport et infrastructures pour évaluer et réduire les émissions

⁸² Entretien avec Monsieur Bartolomaeus, BAST.

sonores. Ce travail repose sur une nouvelle méthodologie de conception des bâtiments pour réduire les émissions de bruit. Ceci conduit l'équipe de recherche à s'enquérir des études menées et référencées dans le Guide du Bruit et des transports terrestres pour aboutir à la prévision des niveaux sonores. Ce Guide a été édité en 1980 par le Ministère de l'environnement et par celui des Transports. Lorsqu'une construction d'une voie urbaine ou rurale est en projet, il s'agit d'estimer le nombre de véhicules en transit, de calculer le bruit généré par ce trafic et d'aller jusqu'à des préconisations pour la construction de murs anti-bruit pour l'installation des équipements. Ces modèles de prévision des bruits sont l'objet des études du BAST. Il existe un modèle BAST, de prévision des bruits, en cours d'amélioration. Les calculs ne s'appuient pas et ne s'approchent pas de la norme mais relèvent d'indications préconisées.

Par comparaison, il existe pour le trafic ferroviaire une Directive imposant des seuils de bruit : la démarche aujourd'hui consiste à aller vers une démarche similaire pour le trafic routier. Les recommandations s'adressent uniquement aux fabricants et installateurs d'équipements et d'infrastructures. Par exemple, si la distance habitat – route est trop faible, la construction exigera l'installation de murs anti-bruit. La structure administrative que constitue le Land a pour fonction de planifier. Le responsable de la construction d'une route obéit à une planification du Land. Le Land impose à l'entreprise de construction des normes de bruit et donc peut imposer la construction de ces installations de réduction des impacts sonores. Les voies en Allemagne peuvent être classées en 3 catégories :

- les autoroutes, dont la responsabilité est assurée au niveau du BUND, lequel budgete et délègue l'entretien et le fonctionnement aux Länder.
- Les routes dépendant du KREIS (organisme administratif entre le Land et la commune)
- Les routes dépendantes de la commune

Le modèle de prévision des bruits conçu par le BAST date de 1975, en collaboration avec la Suisse, modèle resté sans nom. Il a évolué en 1981, donnant naissance à la seconde génération cette fois nommée RLS 81. Une troisième génération a vu le jour en 1990 avec RLS 90 (RLS pour Richtlinien für dem Lärmschutz am Strasse). Une nouvelle version est en préparation, la complication venant d'une exigence de validation par le Ministère des transports et de celui de l'Environnement (deux ministères fédéraux). Ce modèle étant public, aucun copyright n'est possible.

L'origine des données alimentant les modèles du BAST repose essentiellement sur des calculs effectués en termes de nombre de véhicules susceptibles de transiter sur un axe dont la géométrie est connue. Les quatre principaux paramètres retenus sont ainsi :

- Le nombre de véhicules transitant sur une portion de l'axe
- Fréquence de fréquentation
- la vitesse des véhicules
- la nature des revêtements

Les modèles de prévision du BAST ne prennent pas en compte les impacts générés par les bruits sur les espèces animales et la faune en général. Ce sont seulement les personnes qui sont concernées par cette prévision des expositions au bruit. Des tentatives ont été menées sur la faune des oiseaux, mais sans développement.

Les préconisations prises pour les constructions et aménagements sont valables seulement pour les populations humaines, lesquelles doivent valoir pour les animaux. Il y a bien une préoccupation de bruit et de l'incidence des constructions de structures sur la vie animale mais pas au titre d'une prévision spécifique sur la faune.

Les Norvégiens, Suédois et Danois et Néerlandais sont très avancés en recherche sur la modélisation des prévisions du bruit. Parmi les autres modèles de prévision de bruit les plus usités, sont cités ceux de NORD 2000 (nordique) et le NMPB (France).

De son côté, la société AVISO a investi dans l'acquisition de deux logiciels spécifiques pour l'évaluation du bruit :

- le **modèle LIMA**⁸³, servant les études à grande échelle, notamment des Länder
- le **CADNAA**⁸⁴, logiciel de prévision acoustique en environnement, moins puissant que LIMA

L'offre des cabinets d'ingénierie en modélisation des bruits a été fortement activée par une réglementation européenne, la Directive Bruit⁸⁵, obligeant les collectivités territoriales de plus de 100 000 habitants à établir pour 2007 des cartes de bruit et des Plans Bruit. Aussi la ville de Stuttgart est-elle concernée directement (600 000 habitants). Les modèles de prévision du bruit adoptés par la ville de Stuttgart, nous trouvons :

- le **LIMA**⁸⁶
- le **CADNAA**, **SOUNDPLAN**, diffusé par Braunstein et Berndt GmbH à Backnang (www.soundplan.de)
- l'**IMMI**⁸⁷
- le logiciel **STREET S.1**⁸⁸, sous Windows 2000 XP, lequel ne traite pas du bruit mais uniquement de la pollution atmosphérique locale

Ces modèles permettent de savoir comment régler des problèmes de bruit et de réduction des trafics de transport à l'échelle de quartiers de la ville. Les éléments constitutifs (données) sont fournis par les services de la ville. Des mesures in situ sont effectuées par les services de la ville et constituent cette base de données. Les modèles achetés sont livrés bruts mais des améliorations sont apportées, faisant l'objet d'un travail en commun. L'idée est bien d'aller jusqu'à établir des cartographies du bruit ambiant, sur la base de données locales et sans aller jusqu'à extrapoler à l'échelle nationale.

⁸³ voir sur : www.stapelfeldt.de; outil très puissant, en langage Fortrans, utilisable sous Windows

⁸⁴ diffusé par ACCON GmbH de Greifenberg (www.accon.de)

⁸⁵ Directive Européenne de protection et de diminution du bruit en milieu urbain

⁸⁶ diffusé par le Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft MBH de Dortmund (www.stapelfeldt.de)

⁸⁷ diffusé par Wölfel Messsystem Software GmbH à Höchberg

⁸⁸ diffusé par KTT (Kunz Technology Transfer; le Dr KUNZ (GmbH) à Saarbrücken.

Le programme HARMONOISE :

Ce programme européen désormais achevé a été suivi de la programmation d'un programme de recherche de niveau 5, pour une harmonisation européenne de la recherche en prévision des bruits. Intitulé IMAGINE, se déroulant sur 3 ans, ce nouveau programme intègre non plus seulement les émissions sonores émanant des trafics routiers et ferroviaires, mais aussi ceux d'origine aérienne. Cette harmonisation des méthodes de prévision des effets du bruit implique des partenaires déjà présents dans Harmonoise et aussi différents que :

- le Deutsche Forschung amseits für Luft und Raumfahrt, lequel est implanté sur Cologne (énergie solaire et effets psychiques du bruit), sur Bayern (Météorologie), sur Göttingen, sur Berlin (turbulences aériennes).
- Le cabinet DEBAKOM (GmbH), comprenant 10 personnes et implanté à Odenthal)

Le centre de recherche BAST, engagé dans ces programmes de recherche européenne, est entouré de partenaires eux-mêmes impliqués dans HARMONOISE, à savoir :

- le programme de recherche SILVIA (en 4 étapes, sur le bruit)
- le programme NOISE (3 ans) pour le bruit en milieu urbain
- le LCPC, Laboratoire des Ponts et Chaussées de Paris (Mr Béranger, Mr Afonzon), programme franco-allemand sur le bruit, avec des préconisations attendues sur les constructions des routes transfrontalières
- l'INRETS avec Mr Hamet
- Le colloque franco-allemand DEUFRACO, à l'initiative des ministères, programme de recherche réunissant les acousticiens, les physiciens et les architectes.

En dehors de ces modèles de prévision des impacts sonores sur les milieux et les populations, il faut ajouter ceux spécifiquement destinés à la mesure des expositions des populations : la modélisation des Impacts porte sur des niveaux de bruit ou des concentrations de pollution et donc requiert la collecte de données physiques, tandis que la modélisation des effets repose sur un effectif de personnes exposées qui souffrent de symptômes, par exemple d'un sommeil perturbé ; c'est donc la mesure des effets psychiques qui compte. Nous devons souligner ici l'existence, non révélée par nos collègues allemands mais par un chercheur de l'INRETS de Lyon, du système PASSWAY. Ce système de modélisation permet de prendre en compte les Emissions, les Impacts, les Effets et les Relations Doses-Effets relatives aux nuisances sonores. Un projet européen est en cours, lequel vise à déterminer des cheminements d'impacts (relation dose-réponse, passant d'une émission à un niveau de concentration, puis à une exposition et enfin à une réponse associée à un impact ou à un effet.

Il faut observer deux démarches spécifiques en matière de modélisation : en France, avec une réglementation qui impose des résultats qui seront mesurés, la démarche est celle de la réception des bruits par la mesure sur site selon un chercheur de l'INRETS. En Allemagne, c'est une démarche de limitation des bruits qui est obligatoire, avec définition de la hauteur par exemple des murs anti-bruit.

La mesure n'est pas discriminatoire mais c'est la procédure ou la démarche qui l'emporte. Les préconisations écrites en Allemagne sont basées sur des mesures (cf label des matériaux isolants servant à la réduction des bruits). La réception s'effectue à partir de la procédure (labelisation des matériaux). Ces deux positions correspondent à deux philosophies discernables en Europe : celle qui prône le recours à des calculs, sans vérification par des mesures (confiance dans les acteurs), en vigueur dans les pays du Nord, celle prônant le recours à des mesures pour vérifier. D'où une certaine méfiance française vis-à-vis de la modélisation et des calculs, la demande portant sur des mesures in situ.

La méthode de modélisation de l'évaluation des niveaux sonores en Allemagne se distingue nettement de celle identifiée en France (dite NMPB, pour Nouvelle Méthode de Prévion du Bruit, intégrant les conditions météo⁸⁹). La méthode en Allemagne, méthode dite RLS 90, reposant sur l'usage de logiciels tels que **SANDPLAN**, **CADNAA**, **IMMI**, **LIMA**, contrevient à l'harmonisation attendue à l'échelle européenne entre les pays membres en matière de réduction des impacts sonores. C'est alors qu'une méthode unique a été adoptée à Bruxelles valable pour les pays européennes : la Directive Bruit, parue en 2002, force les laboratoires de recherche à établir une harmonisation des méthodes de calcul de niveaux d'émissions bruit (programme HARMONOISE).

a. Modèles de prévision des émissions de polluants atmosphériques

Nous pouvons rappeler d'emblée que les modèles précédemment cités trouvent des extensions en matière de modélisation des impacts relatifs à plusieurs types de nuisances, dont le bruit. Certains modèles permettent de coupler des nuisances tels que Bruit et Pollution de l'air, à l'image du système URBIS, développé par le cabinet néerlandais TNO. Mais nous devons ici insister sur l'importance des modèles portant spécifiquement sur les impacts atmosphériques. Ceux-ci se déclinent en deux grandes catégories d'impacts, à savoir ceux désignant les pollutions aériennes locales et celles contribuant à l'effet de serre (changement climatique).

Si le centre de recherche BAST ne comprend pas de spécialiste de la qualité de l'air, il est utile de mentionner ici qu'il existe un modèle identique au RLS 81 pour l'étude de la pollution de l'air, modèle développé par un cabinet privé, le modèle MLuS⁹⁰.

De son côté, la société AVISO a acquis le modèle MISKAM, disponible sur le marché. Cet outil ne prend pas en compte les bâtiments, mais reste un modèle de diffusion et propagation à l'échelle micro. Cependant, les modèles à grande échelle ne tiennent pas plus compte des bâtiments note le

⁸⁹ Modélisation adoptée par l'INRETS en France : méthodes de mesure du bruit sans trafic + mesures de bruit des véhicules (SILENT VIA, SILVIA, basé sur des modélisations de bruit des pneus sur chaussée) ; approche Bruit par mesure de paramètres physiques « motorisation, type de chaussée, types de pneus », données servant une modélisation bruit lié au trafic ; approche « perception », évaluation des effets bruit sur la santé ; Modèles adoptés pour les calculs de niveaux de niveaux sonores sont : MITRA et ARTEMIS ; Modélisation des niveaux sonores dans une rue : MITRA (CSTB de Grenoble) (applicable pour le routier, ferroviaire, tramway, l'aviation ; MICROBRUIT (Certu), repris par une société qui l'a renommé ARTEMIS.

⁹⁰ conçu et diffusé par Lohmeyer Consulting Engineers, Mohrenstrasse 14, D-01445 Radebeul, Germany.

directeur de AVISO, Arnold Niederau. Un seul paramètre est retenu pour l'écoulement des flux d'air (force et direction du vent). Afin de mutualiser les compétences sur la problématique générale de la modélisation des impacts environnementaux, un groupe d'experts s'est constitué, réunissant trois partenaires privés au sein d'un réseau informel désigné ENFU (Expert Network Für Umwelt)⁹¹. Ce groupe d'experts permet de mutualiser des connaissances en météorologie, en aérologie (force et orientation des vents) et aérodynamique (technologie nucléaire). Les modèles étrangers disponibles et renommés sont le POLYDROM, POLYTOX (Air), tous deux conçus par le Dr De Rham (spécialiste de la modélisation de trafic).

Le modèle HANDBUCH⁹² sert pour des calculs à l'échelle locale, car il n'est pas adapté à cette échelle nationale. Les cabinets d'étude reprennent les données et effectuent leurs propres opérations de multiplication.

Si nous devons retenir une première typologie des modèles dans la catégorie « impacts atmosphériques liés aux transports routiers », nous pourrions d'emblée suggérer de distinguer :

- les modèles « Qualité de l'air » (modèle Parc auto à l'INRETS en France, sur la base des usages des ménages depuis les années 1970)
- **les modèles de « survie des véhicules** par rapport à la mise sur le marché » (1991) (données d'immatriculation globale des véhicules pour l'ensemble d'un territoire fournies par les constructeurs auto)
- **les modèles statiques, de type PARC** d'émission de pollution dans l'air (inventaire des véhicules et du parc français en 1987, développé en interne à l'INRETS)
- les **modèles de Trafic** reposant sur un parc roulant, et donc sur le calcul du nombre de véhicules multiplié par le kilométrage annuel.
- **les modèles d'émissions de polluants atmosphériques** / véhicule (diesel ou essence) s'appuient sur des paramètres que sont les normes d'émission par catégorie de véhicule et de carburant. Ces modèles d'émission locale et globale ont été mis au point à l'échelle européenne. La mise au point de modèles d'inventaires s'effectue depuis une vingtaine d'années. La mesure des émissions s'effectue au sein de laboratoires européens, afin de comprendre les paramètres et relevés des mesures. La traduction des connaissances se fait sous la forme de modèles d'émissions.

Nous retiendrons dans la catégorie des modèles d'émission, le Modèle européen COPERT 3 (1998), lequel a été conçu dans le cadre d'une recherche de coopération scientifique et technique européenne (programme COSTE). COPERT est diffusé par l'agence européenne de l'environnement (gratuit et public). Ce modèle est prévu pour les calculs d'inventaires nationaux des pays membres et partenaires (sauf Suisse, Allemagne et Autriche qui ont développé le modèle d'émission nommé HANDBUCH).

⁹¹ voir site : www.enfu.de

⁹² Pour ce modèle, il est possible de consulter : UBA (Umwelt Bundesamt Berlin) et l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage à Berne (Suisse, OFEP). Les documents consultables sur : Docu@buwal.admin.ch et www.admin.ch/buwal/publikat/f/

Le modèle COPERT est un modèle statique (basé sur l'état du parc de véhicules). Trente polluants sont répertoriés par COPERT (relativement à la réglementation sur les polluants). Plus on s'éloigne des polluants réglementaires et plus la qualité des modèles tend à diminuer. Pour les COV, comptant 200 à 300 molécules, ils sont pris en compte dans le modèle ARTEMIS. La sortie du modèle donne une masse de polluants émis dans l'atmosphère. La donnée de base est simple puisqu'il s'agit de l'état du parc des véhicules. Les données complexes sont celles relatives au comportement du conducteur, avec prise en compte d'une vitesse moyenne dans COPERT.

L'action COSTE fait partie du projet MEET, lequel porte sur la modélisation des émissions atmosphériques de tous les modes de transport (aérien, routier, ferroviaire, marin). L'INRETS a été leader dans ce projet MEET. Le modèle COPERT 3 est spécifique au domaine routier. Le projet MEET comprend parmi ses partenaires principaux le TUV, Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH et la firme BMW-AG parmi ses partenaires associés.

Le projet ARTEMIS⁹³ (2000 - février 2005, 5^e PCRD), repose sur une modélisation des pollutions par la prise en compte de la vitesse moyenne mais avec une description des trafics (qualitativement). La température ambiante est une information collectée expérimentalement du fait de son influence sur certains facteurs d'émission. Reste que ce modèle n'a pas été évoqué par nos collègues allemands, alors que ce projet regroupe toutefois des laboratoires et cabinets d'ingénierie tels que le Bergische Universität - Gesamthochschule Wuppertal (BUGHW), le Fraunhofer Gesellschaft, Institut für Atmosphärische Umweltforschung (Fhg/IFU), RWTUEV Fahrzeug GmbH (RWTUEV), TUEV Automotive, TUEV Nord.

Pour le traitement de la qualité de l'air, nous avons déjà fait part de l'implication de la ville de Stuttgart sur cette question, au travers un programme de lutte contre les nuisances et pollutions de l'air. Cette ville pilote à l'échelle européenne, avec les villes de Burgos en Espagne, de Cracovie en Pologne et de Gênes en Italie, est tenue de proposer des mesures à appliquer pour réduire ces nuisances. La coopération entre ces villes européennes est préconisée par l'Union européenne. Il n'y a pas de contact établi à ce jour avec la France, mais c'est sans exclusive. Une collaboration avec une ville japonaise est en cours sur ces questions. La création d'un atlas du climat est en cours avec le Japon, document qui sera édité en Allemand et en Japonais. Le mérite de ce travail d'élaboration d'un atlas tient aussi aux interactions entre climat et pollution atmosphérique. L'influence des zones vertes sur l'amélioration de la qualité de l'air y est notamment présentée. La ville de Kanazawa (470 000 habitants), partenaire de ce projet, a développé son propre modèle et l'applique à son échelle. La collaboration porte sur la mise en application d'une expérience réciproque.

La mesure des émissions et immissions est effectuée par le recours au modèle STREET S.1 par le service de la ville de Stuttgart : les émissions sont appréciées en g/km, ainsi que les VOC, le benzol, les NOX, les PM10 Ausstoss, les PM10 Abrieb etc ; les immissions sont appréciées en microg/m3, ainsi que les VOC, Benzol, PM10, NOX, NO², CO et SO². A partir de ces mesures, des courbes de concentration sont établies sur les semaines en centre de ville de Stuttgart. Les mesures sont

⁹³ www.trl.co.uk/artemis

effectuées en temps réel toutes les demi-heures, par stations fixes en continu avec actualisation systématique (toutes les demi-heures). Une prise de mesure des vents (force et direction) permet de tracer les couloirs d'émissions des polluants en milieu urbain.

Dans le programme REKLIP⁹⁴, portant sur le fossé Rhénan méridional, entre France et Allemagne, les partenaires de la recherche proposent de manière concertée des outils de modélisation mis à disposition en matière de météorologie entre municipalités et universités. Les modèles développés sont mésoscopiques et microscopiques. Des modèles sont développés en commun avec le professeur Lohmeyer⁹⁵ de l'université de Karlsruhe, ainsi que 3 à 4 cabinets associés.

f. Point sur la réglementation européenne et modélisation

Pour chacune des problématiques que sont la pollution atmosphérique et celle du bruit, deux plans de mesure ont été adoptés au travers les réglementations européennes :

- le plan de protection contre le bruit (directive européenne 2002-2008), obligeant les communes > 50 000 habitants puis celles de >100 000 à faire établir des cartes des bruits et à réduire les impacts, notamment pour les axes > 16000 véhic/jour en phase 1, puis les axes > 8000 véhic / jour en phase 2).
- Le plan de protection de la qualité de l'air (Dir européenne de 1996)
- Un projet d'intégration des deux impacts air/bruit dans une même réglementation serait en cours de réflexion.

Les pays membres de la communauté européenne ont signé des conventions sur des objectifs de réduction des émissions de CO² et NO². Il revient à chaque pays de calculer ses émissions. A l'échelle de l'Europe, il a été établi qu'une harmonisation des modes de calcul des émissions soit engagée, d'où le programme HARMONOISE pour impliquer les pays membres dans un travail de comparaison des méthodes et de définition d'une méthode commune. Le **projet MEET/COSTE** (dans le cadre de CORIN/AIR pour Couverture et Inventaire de l'Environnement en Europe) a pour finalité de réunir ces pays en vue de fixer les critères attendus en matière de modélisation. Ce qui nécessite la collecte de toutes les données de la qualité de l'environnement en Europe et ce qui revient à terme à doter chaque pays européen d'outils. CORIN /AIR est intégré comme outil par l'Agence Européenne de l'environnement, tandis que l'Allemagne a son propre modèle (**HANDBUCH**). **ARTEMIS** est un projet d'harmonisation du recours au même modèle.

Nous devons ici réserver un rapide résumé de ce que l'Allemagne, au travers son ministère des transports (Bund), a initié. En effet, un programme de définition de la planification des infrastructures de transport pour l'avenir a été établi en fonction de ces contraintes nouvelles de réduction des impacts sonores et atmosphériques : Le système BVWP (Bundes Verkehrs W Planung Verfahren),

⁹⁴ REGIO - KLIMA – PROJEKT, projet climatologique de la Région Trinationale du Rhin supérieur (France, Italie, Suisse, Allemagne) ; participation d'environ 20 groupes de chercheurs des universités, des autorités et d'entreprises privées pour le relevé et l'évaluation de données sur le climat régional.

⁹⁵ L'ensemble des modèles utilisés sur les questions de l'air, du climat et du bruit sont listés et décrits sommairement sur le site de la ville de Stuttgart, sans que les noms des experts associés y soient cités. : www.stadtklima.de

auquel la société AVISO est associé, est une méthode devant permettre d'apporter des éléments de réponse au travers :

- une méthode d'évaluation
- une analyse des coûts/avantages
- une analyse des impacts lors des constructions et aménagements des infrastructures et donc des modifications du trafic dans les agglomérations.

Les changements attendus sont ceux portant sur la durée des trajets (et liaisons) et sur les coûts. Le temps est transformable en argent. Lorsque cette règle est applicable sur de nouvelles structures réalisées, une influence s'exerce sur la durée mais aussi sur le coût de fonctionnement des véhicules (consommation de carburants). La méthode d'analyse est celle s'appuyant sur un système multi-critère :

- temps (gain-perte)
- coût de fonctionnement (plus élevé, plus faible)
- sécurité (gain, perte)
- accidentologie (hausse, diminution)

Ces aspects sont ramenés en mesures comptables et en coûts monétaires, en coûts notamment sur les activités et créations d'emplois, en risques et nuisances pour la santé publique (un changement d'ambiance sonore induit des effets sanitaires)...Ce système d'analyse multi-critères permet aux administrations de classer des projets par priorité et par coûts. C'est un outil d'aide à la décision⁹⁶ pour le Bund, le Land ou pour toute commune.

g. Les modèles intégrés :

1) Le système VISION de PTV.

Nous avons présenté ci-dessus les travaux entrepris par la société PTV⁹⁷, lesquels se déclinent en trois domaines d'ingénierie que sont les études de trafic, avec des études de planification, de management et d'optimisation des infrastructures, systèmes de contrôle, sur la mobilité et sur la logistique des transports (management géographique).

Nous avons pu aussi observer que la modélisation reposant sur des systèmes d'information géographiques (SIG), à différentes échelles des territoires, présentait l'intérêt de définir des tailles de cellules sur des axes de déplacement en y intégrant des paramètres aussi diversifiés que les distances origine-destination, les distances entre bâtiments, les tailles de populations (densité) etc. Mais ces outils offrent aussi l'opportunité à PTV d'estimer des effets induits sur les populations. Puisque la structure de ce modèle de trafic (REGIO-SUSTAIN) comprend les données contenues dans un SIG, en termes de population, de climat, de nature des revêtements de la chaussée, du nombre de voies, de taille des trafics, de modes de transport, par importation du SIG et du modèle de

⁹⁶ La principale formule est celle du NKV : Si Nutzen Kosten Verhegnis = $\sum N / \sum K < 1$ mauvais projet (somme des coûts > aux besoins) ; Si Nutzen Kosten Verhegnis = $\sum N / \sum K > 1$ bon projet (somme des coûts < aux besoins)

⁹⁷ Entretien avec Thomas Benz, Ulrich Brannolte, Herr Mac Farland, PTV à Karlsruhe.

trafic, puis exportation vers un ordinateur, un traitement de données en termes de migration est obtenu. L'évaluation des coûts se fait à l'issue de ce traitement des données, notamment des coûts imputables sur la santé et la pauvreté. A partir de ce modèle, il est possible de définir l'évolution des concentrations de gaz dans l'espace par exemple. Le résultat obtenu est réinjecté dans le système pour évaluer les risques pour une population dans l'espace et dans le temps. Il est même possible d'aller jusqu'à évaluer les risques pour un groupe de population ou par personne. Dans le cas du bruit, l'évaluation des nuisances sonores pour 1000 personnes permet de rapporter les risques pour chaque individu. La mesure des effets produits par les particules de poussières, de NOX ou des effets sonores (bruit) est désormais effective pour des liaisons entre villes comme Freiburg / Daman-Eschingen, entre Lyon et Turin. Il est possible de comparer tous les critères d'impact (bruit, pollution atmosphérique) et d'estimer les coûts sociaux induits.

Parmi les études remarquables de l'IWW⁹⁸, celle portant sur l'évaluation des coûts externes des transports a consisté à intégrer des phénomènes aussi divers que les accidents, les congestions urbaines, le bruit, la pollution de l'air, les impacts environnementaux pour tous les modes de transport (réalisée en 2000 avec INFRAS de Zürich⁹⁹).

La diversité et la spécificité des logiciels conçus et développés par PTV permettent d'obtenir une approche intégrée des différents niveaux dans la chaîne des transports, depuis l'analyse de la demande (avec VISEM), jusqu'au management des déplacements (VISUM), en passant par la simulation des itinéraires (VISSIM) et le contrôle de trafic (CROSSIG).

La planification des transports repose sur de la modélisation de la demande (VISEM). L'ingénierie de trafic repose sur des modèles de géométrie des réseaux et de transit. Une description des véhicules, des comportements des conducteurs et de la régulation des contrôles avec signalisation ou sans signalisation permet de constituer la base de données pour la modélisation (de type VISUM, CROSSIG). Les données d'entrée (input) alimentent les modèles de trafic. Les données relatives aux structures alimentent le modèle VISEM, celles relatives aux comportements alimentent VISUM et celles relatives aux infrastructures le modèle VISSIM. L'assemblage des 3 composantes que sont VISEM, VISUM et VISSIM constitue le module software VISION.

Une interface avec les SIG (système d'information géographique) est assurée avec le logiciel VISUM pour l'inscription de la topographie des réseaux routiers. Ceci permet d'obtenir un graphique de distribution spatiale de la demande de déplacement à l'échelle des territoires et d'une distribution relative dans le temps.

En dehors de cette modélisation topographique des réseaux et infrastructures, ainsi que celle des flux de déplacements, PTV développe aussi la modélisation des impacts environnementaux, définissant un gradient affecté par type de nuisance : pour le bruit (en dB/km), pour le NOx (en g/km), pour les SO₂, CO et HC. Le modèle VISSIM a été conçu selon une méthode dérivée des recommandations de la procédure officielle : le Manual de l'UBA (équivalent de l'US-EPA). Le calcul des émissions dans VISSIM consiste en une approche dénommée Advanced approach. Les consommations de fuel et

⁹⁸ Université de Karlsruhe (IWW⁹⁸ ou Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung) est dirigé par la professeur Rothengatter

⁹⁹ IWW, INFRAS, Markus Maibach, Union internationale des chemins de fer, « External costs of transport (accident, environmental and congestion costs) », Zürich, Infrac, 2000.

carburants, ainsi que les émissions sont établies selon les paramètres inscrits en input dans le modèle, tels que :

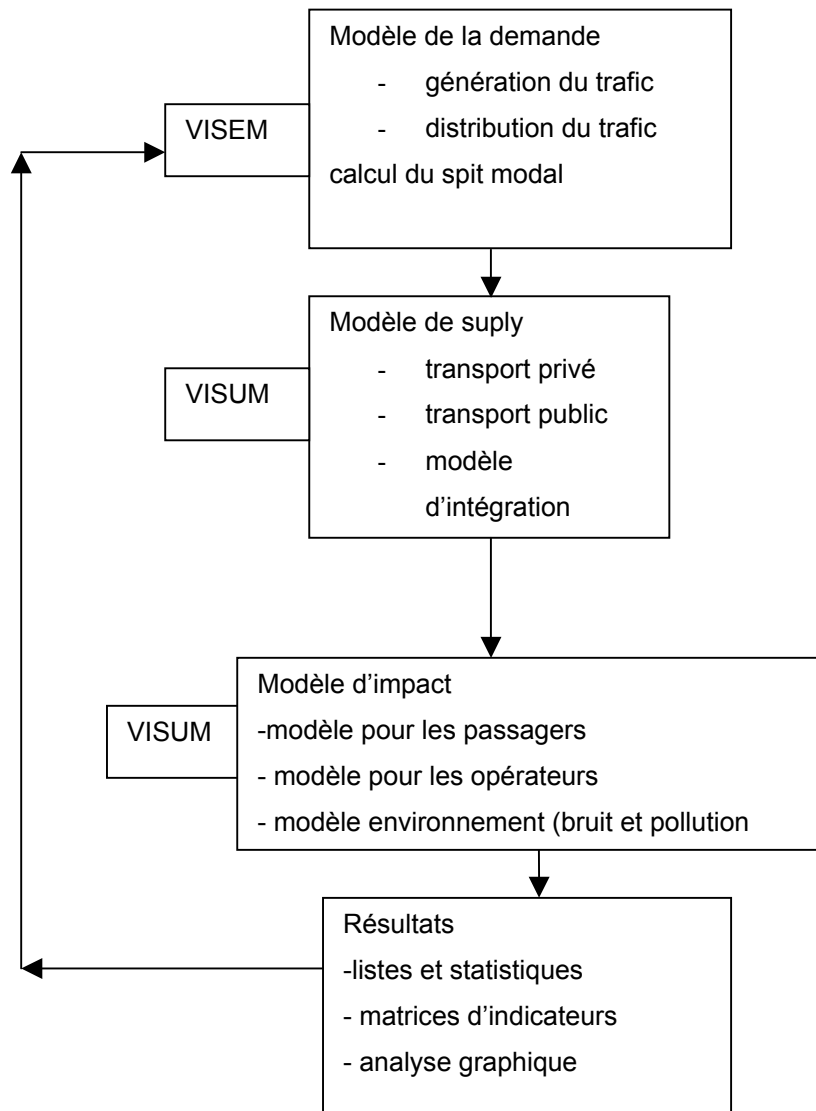
- vitesse moyenne et accélération des véhicules
- catégories de véhicules (car de passagers, véhicules légers et lourds,...)
- type de carburant (diesel, essence...)
- phases d'émissions

En sortie, le modèle VISSIM permet d'obtenir des répartitions des dispersions des polluants.

Un schéma du système de transport est ainsi établi de la manière suivante :

VISSIM est un outil de modélisation des flux de trafic, lequel à partir des données des réseaux est alimenté par les informations sur l'état des trafics, des types de contrôles et de régulation des trafics et permet d'obtenir une micro-simulation en 3D ainsi que divers scénarios de déplacements et de niveaux de trafics.

La modélisation des trafics ne repose pas sur des études de comptage reconduites systématiquement à l'inverse du MADITUC au Canada. La grande difficulté est d'obtenir des données sources aussi proches de la réalité. Des dérèglements du système transport sont encore à rectifier. Cependant, ce sont déjà plus de 200 villes en Allemagne qui sont utilisatrices de cette modélisation. A travers le monde, ce sont près de 150 villes ou collectivités qui ont adopté cet outil (en Asie, en Europe, aux USA), adoptant VISION et d'autres systèmes compatibles. Des variantes du modèle VISION ont été développées selon des géométries variables en fonction des pays et des contextes. De grandes sociétés européennes de transport, suédoises, françaises ont adopté VISION (dans le routier et dans le ferroviaire).



Un modèle macro-économique a été déposé auprès de l'Union européenne, le modèle ROTANOMO. Les sociétés telles que Renault VI, PSA en sont utilisatrices pour la modélisation des émissions de leurs véhicules. Cependant, une séparation des modules est opérée pour le calcul des bruits. Ce modèle a été approuvé par l'EPA.

Les méthodes françaises et allemandes sont très distinctes, dans la mesure où la France s'appuie sur des mesures des émissions, tandis que les cabinets allemands s'appuient sur des calculs. Que ce soit pour les émissions sonores ou de polluants, l'évaluation procède par calcul pour alimenter un modèle, avec des simulations microscopiques.

2) Le système PROPOLIS de W&S GmbH

Si nous nous reportons au modèle de planification urbaine conçu par la société Wegener & Spiekermann GmbH, au travers le système Propolis, nous y retrouvons une démarche d'intégration des aspects économiques, sociaux et environnementaux. Tout scénario intègre ainsi par exemple la montée des coûts de carburant et de l'énergie. Pour renforcer les arguments en faveur d'un scénario

d'aménagement urbain dans une perspective de long terme, le recours à trois évaluations complémentaires est proposé :

- Une évaluation environnementale : Bewertung Model, avec 4 thèmes (qualité, ressources naturelles, pollution de l'air, changement global ou climatique)
- Une évaluation sociale : santé, hygiène et croissance, droits et conformité, accessibilité
- Une évaluation économique : cours des matières premières dont énergies

Le modèle du projet **PROPOLIS**¹⁰⁰ (Planing and Research of Policies for Land use and Transport for Increasing Urban Sustainability) est le plus significatif quant à la méthode proposée par W& S Gmbh. Ce modèle permet d'appréhender la question de la planification des transports au regard des aspects énergétiques, environnementaux et de durabilité à l'échelle des territoires. Les objectifs de cette recherche consistent à développer une méthode pertinente pour l'aménagement et la politique des transports, de définir des stratégies de développement des villes en prenant en compte les développements sur le long terme. Le système du modèle PROPOLIS repose sur une recherche des effets sur le long terme. Les modèles de planification (où habitent les personnes ? où travaillent-elles ? où se rendent-elles ?) sont articulés avec les modèles de transport (Verkhers models) (par quels moyens se déplacent les individus ?). L'originalité tient à la relation établie entre l'utilisation de l'espace (par les infrastructures existantes) et les modèles de transport. Ce système repose aussi sur l'idée de ne pas tenir compte de où, quand et comment on se déplace. La modélisation de ces facteurs a été établie avant PROPOLIS. Par contre, il s'agit de donner une définition des politiques. L'intégration avec le GIS permet d'aborder les facteurs environnementaux.

Pour PROPOLIS, l'équipe a recours à des modèles déjà existants :

- TRANUS et MEPLAN pour la formation et l'entraînement (2 modèles commercialisés)
- IRPUD, développé en université de Dortmund par S et W dans les années 80 puis amélioré depuis.
- Le modèle PROPOLIS propose d'harmoniser toutes les données recueillies par ces 3 modèles.

Le RASTER MODUL se décline ainsi en 4 modules distincts :

- un module d'indicateurs économiques
- un module d'indicateurs réglementaires
- un module d'indicateurs de durabilité
- un module de variables générales

Le travail repose ensuite sur une représentation graphique du terrain : définition d'un zonage des territoires, collecte des données sur ces zones, recours aux modèles de transport terrestre et modèles des impacts environnementaux. Trois options se présentent alors aux chercheurs, entre une approche globale, zonale ou combinant les deux.

- une approche de « no spatial disaggregation » pour caractériser le transport mais ne permettant pas de calculer les émissions ou immissions (données trop grossières, avec large maillage des zones)

¹⁰⁰ article accessible en ligne sur : <http://www.suburbansolutions.ac.uk/DocumentManager/secure0/M%20WEGENER-background%20paper-Modelling%20urban%20sustainability.pdf>

- une approche « spatial disaggregation of input », base sur des données fines des zones (maillage fin), avec micro-simulation du modèle de transport routier et un modèle d'impact environnemental détaillé. Le feedback entre modèle d'impacts environnement et modèle de micro-simulation du transport routier est présent dans le projet ILUMAS.

- La 3^e possibilité est celle de l'approche dite « spatiali disaggregation of output », combinant les deux modèles précédants par le moyen du RASTER Modul dans PROPOLIS. Ce Raster Module, une fois constitué peut être utilisé pour le second système et permettre d'offrir une vision globale ou une vision plus localisée.

Par exemple, un Raster Module a été développé pour la Ville de Dortmund, avec application pour la ville à partir du calcul des petites cellules et répartition des populations (échelles de couleurs par densité de population ou nombre d'habitants / hectare). La cellule choisie est de 100 m x 100 m. Ce sont 200 000 cellules qui permettent de couvrir l'ensemble du territoire. Il est possible de mesurer les effets de la politique urbaine sur la répartition de la population (effet de dispersion ou de concentration). Cette approche permet de répondre à la problématique suivante par exemple : quel taux de la population serait concernée par les effets d'un aménagement de création d'un axe routier ? »

Une carte de répartition des lieux de travail (phénomène de concentration des lieux d'activités), une carte de répartition du bruit lié au trafic en Db (A) sur la base des préconisations du BAST (avec classement des axes par hauteur de bruit : < 42 DbA ; < 68 DbA ...). La différence avec les recommandations du BAST tient à ce que ce ne sont pas les constructions qui sont prises en compte (en taille, implantation ou distances et équipements de protection) mais bien le nombre d'emplois sur cette zone. Ce qui rend le calcul très différent. Cette carte des différences d'exposition au bruit donne lieu à des scénarios bas ou haut, différenciés par un delta d'une année à l'autre.(entre 2000 et 2001).

Les scénarios établis permettent d'intégrer des projets de création de nouveaux axes de déplacements, avec une échelle de couleur en fonction des populations exposées et sur la base de la politique d'aménagement local urbain. L'équipe tire alors des conclusions de l'application de ces projets pour déterminer les populations exposées au bruit et est intégré le module de la réglementation. La population est divisée en trois grandes catégories, celles dite « riche », de classe « moyenne » et celle dite « pauvre ». A partir de là, il est possible de définir quelle fraction de population sera la plus exposée aux agressions sonores. A partir de la Directive 713, appliquée sur la période 2000- 2001, il est possible d'obtenir des résultats des politiques de réduction de la pollution sonore, avec l'établissement de cartes d'espaces perturbés et non perturbés. Une caractérisation du bruit dans les zones dites libres (friches, espaces verts) est aussi initiée, avec un code couleur (le gris pour les zones habitables et zones de transport ; le rouge pour les zone connaissant des agressions sonores allant jusqu'à 65 DbA, le vert pour les zones non exposées au bruit).

Ce modèle d'évaluation et de prévision des impacts du bruit permet d'aller au-delà grâce à une analyse multicritère : l'accessibilité aux espaces libres par exemple, puis par agrégation d'indicateurs, par thèmes (social, économique, environnemental) et composantes, d'aller vers une évaluation de la durabilité du système d'aménagement urbain. La prévision de la politique d'aménagement urbain de Dortmund entre 2000 et 2021 peut s'établir sur une superposition de cartes combinant :

- densité de population par zones
- accessibilité des espaces libres
- exposition des populations (en trois catégories) aux émissions sonores (dispersion et propagation)
- exposition des populations aux émissions atmosphériques (NO²).

Le système PROPOLIS s'applique pour une aide à la décision en matière de politique de transport à l'échelle du Land, et donc auprès des 7 villes partenaires. La municipalité de Dortmund n'est pas intéressée en tant que seule collectivité. C'est là que se joue la différence entre une politique de transport et de planification ou aménagement du territoire. Ce système est plus intéressant et plus pertinent à l'échelle du Land. La ville de Dortmund vient de réaliser un plan de restructuration des voies et des mesures de protection contre le bruit et la pollution de l'air mais considère le système comme trop rationnel. Au niveau du Land, le système est apprécié dans sa dimension plus large ouvrant les comparaisons avec les régions et pays voisins (cas de l'Italie). La France n'a pas véritablement porté d'intérêt à ce jour à ce système, s'intéressant plus spécifiquement aux projets de recherche européens.

3) Le système VSS de AVISO GmbH.

Les principaux outils de modélisation développés par AVISO ont été expérimentés sur trois principaux Länder (Nord-West-Whestphalie, Thüringen, Badwurttemberg), à savoir les logiciels que sont :

- Emission Inventory Software Family
- Roadteim
- Railway
- Waterway
- Offroad emission (tracteurs, tondeuses, batteuses)

En fonction de la nature du problème et de sa taille, l'association de plusieurs logiciels est possible. Le marché de ces outils de modélisation est très fermé : les études sont produites pour des Länder et des communes, lesquels utilisent les logiciels avec l'achat de la licence (droit d'utilisation). Le logiciel AVISO est complexe puisqu'il se compose d'un sous-logiciel de modélisation du trafic, d'une partie calcul des émissions et une extension des effets calculés par ce logiciel peut être réalisée pour l'ensemble des Länder auxquels s'applique ce logiciel.

Si nous reprenons l'exemple du modèle ROADTEIM, cet outil a permis de réaliser une étude de prévision sur les émissions de GES (gaz à effet de serre) et d'ozone liées au trafic routier sur les

territoires de Cologne et Aachen (soit 6 à 7 millions d'habitants). Chaque rue, chaque axe a fait l'objet d'un découpage précis pour couvrir l'ensemble du réseau (quadrillage) ; les types de véhicules ont été spécifiés (area specific), l'âge moyen des véhicules, les « euros-catégories » de véhicules pour la pollution (1 = forte émission, 4 = faibles émissions), les facteurs d'émission appliqués à chaque véhicule. Les résultats obtenus :

- des taux d'émissions par heure, par jour, par an et pour chaque segment des axes routiers du périmètre d'étude.
- des ratios pour chaque cellule (100m x 100m ; ou 1 km x 1 km)

Les sources sont multiples, géographiques, routières (en provenance des administrations). Pour la modélisation des émissions et leur représentation spatiale, le SIG ARCWIEW permet aux administrations et collectivités locales une lecture des travaux de AVISO. Une analyse hebdomadaire des émissions permet de suivre la variation des pics d'émission en fonction des jours, comme celui très élevé du lundi soir. Un graphique d'évolution annuelle est tiré pour un bilan global des émissions. AVISO reçoit les données en tant que valeurs de la journée : le calcul du logiciel d'AVISO permet une extrapolation à la semaine et au mois.

Les données sources sont des mesures in situ sont conduites tous les 5 ans sous la forme d'une comptabilité à l'échelon du Bund (commande du Bund) pour 40 000 sites de mesure. Dans les grandes communes, un logiciel AVISO (VSS + HHS¹⁰¹) a été élaboré pour leur propre simulation de trafic. L'outil concurrent est le VISUM de PTV., mais les filières de diffusion et la demande n'émane pas des mêmes acteurs. Le modèle de AVISO est un logiciel conçu par la société allemande HHS, fondateur et partenaire-actionnaire de AVISO, outil désormais très répandu dans le bassin de la Ruhr et en Nord-Westphalie, ou encore au Luxembourg.

Un programme allemand a été lancé, concernant les mégapoles : un appel d'offres a débouché sur 10 projets retenus. AVISO a été retenue ainsi que les Universités de Duisburg et d'Essen, la société SIEMENS, et d'éventuels constructeurs industriels automobiles. L'étude consiste à ramener la totalité de l'énergie consommée à NINGBO (ville de Chine, près de Shanghai) à un niveau inférieur (toutes énergies confondues, d'origine transport, industrielle, habitat). AVISO est bien entendu chargée d'étudier la consommation d'énergie par les véhicules.

Ces deux systèmes de modélisation et de planification des transports, ceux de AVISO et de PTV, sont semblables dans leur architecture, selon 4 niveaux ou étapes de modélisation :

- 1) une saisie et connaissance du trafic, évaluation du trafic pour un déplacement spécifique (motif de déplacement tous modes) ; différenciation dans l'espace des déplacements selon des cellules de dimensions variables ; sondage téléphoniques ou courrier postal pour des taux de 1% de la population sur une agglomération < 80 000 habitants et de 1 pour 1000 pour les grandes agglomérations. L'entrée des jours de déplacement, des motifs, des modes et du nombre de personnes permet de renseigner une base de données et de former 4 groupes de personnes (hommes-femmes ; par tranches d'âges ; sans véhicule/ avec au moins un véhicule).

¹⁰¹ HHS : Harloff Hensel Stadtplanung est une société basée à Aachen

- 2) Une carte graphique des flux de déplacement (localisation des origines et buts des déplacements) ; déplacements individuels et transports collectifs ; les déplacements à pied et à vélo sur de courtes distances sont inscrits dans une seule cellule et ne peuvent pas être pris en compte.
- 3) Une différenciation entre déplacement privé et public sur la base de ce qui est proposé sur les réseaux : le point de partage se fait à partir des types de déplacement avec ou sans station de TC et en fonction de la durée des déplacements. Ce qui suppose une connaissance des cadencements de services de transports publics. Le résultat obtenu consiste en une part de TC rapportée à l'ensemble des déplacements sur le périmètre d'étude.
- 4) Intégration des données de la 3^e étape pour caractériser les itinéraires (la connaissance des origines et buts des trajets, des volumes de déplacements mais sans connaître les itinéraires encore à ce stade). Ce résultat de dernière étape permet de déterminer l'importance du trafic sur l'ensemble du réseau routier (nombre de véhicule par axe).

Si nous devons comparer les trois principaux systèmes de modélisation rencontrés jusqu'ici, à savoir le VISION, le PROPOLIS, et l'AVISO, nous pouvons gager que fondamentalement, il n'existe pas de grandes différences. Les différences tiennent essentiellement à la façon de calculer mathématiquement. Le point de rupture entre les deux écoles que sont celles de Karlsruhe et Aachen, tient dans la recherche d'une relation entre les étapes 2 et 3 pour les ramener à une seule étape.

L'autre différence tient au choix des critères :

- types de véhicules (gamme étendue ou restreinte)
- coûts (part des taxes sur les distances ou les durées)
- Le gain de temps sur un parcours est-il justifié pour construire un nouvel axe ? Faut-il payer ou ne pas payer pour réduire la durée d'un trajet ? Ces questions soulèvent celles relatives aux nouveaux comportements des usagers : sont-ils prêts à payer pour un gain de temps en prenant un axe spécifique ou enclins à ne pas payer en empruntant le centre ville ? La taxe n'a-t-elle pas des effets discriminants ?
- Le cas du périphérique de Lyon (TEO) a été très instructif à ce sujet : les prix très élevés ont été ramenés à une taxe abordable pour les usagers. C'est devenu un cas d'école. L'augmentation du nombre de véhicules doit compenser les coûts de maintenance des équipements.
- Le cas de Marseille : à l'inverse, la taxe était très faible au démarrage puis a progressivement augmenté pour emprunter le tunnel en construction.

VISUM est un modèle très adapté à l'échelle d'une commune, et est l'équivalent de la 1^{ère} étape dans le processus de modélisation. VISSEM est l'équivalent des 2^e et 3^e étapes.

Avec VISSEM, une simulation du flot de circulation sur les réseaux est réalisable.

Avec VISSIM, modèle macroscopique, on peut travailler sur une durée de 5 minutes.

Avec VSS AVISO, modèle macroscopique, on peut travailler sur une heure ou une journée de flux de trafic.

Les modèles macroscopiques servent pour l'analyse et la prévision des flux et trafic sur 10 à 15 années. La micro-simulation telle que le permet VISSIM table sur l'instant, tout en nécessitant l'information de VISUM. On mesure la circulation entre deux points à partir des points de départ et d'arrivée. VISUM apporte un modèle de prévision en matière d'itinéraires proposés (une adresse de départ, une adresse d'arrivée) de façon à proposer des recommandations d'itinéraires (avec paramètres autoroute/route, coûts...), valant à l'échelle européenne, pour seulement un type de véhicule et non pas pour l'ensemble du trafic. C'est la limite de VISUM. Cela permet d'appréhender l'échelle d'une ville mais pas au-delà. VSS AVISO part de la ville pour étendre la modélisation à l'échelle du Kreis, puis au Land, puis au Bund. Toutes ces différences tiennent à la programmation.

4) La méthode de modélisation du WUPPERTAL INSTITUT

De grandes enquêtes (à hauteur de près de 5 000 personnes interrogées) sont entreprises par le Wuppertal Institut en collaboration avec de grands instituts d'enquête et de sondage, dont l'institut assure la coordination. Il arrive toutefois que des études déjà réalisées et des données disponibles sont achetées ou collectées sur le Web. Les résultats produits par le Wuppertal Institut sont soit rendus publics, et donc largement diffusés, soit privés et font ainsi l'objet d'une commercialisation. Les statistiques publiques sont disponibles auprès des ministères du Bund (telles que les données sur la pollution atmosphérique) ou la situation du parc automobile pour la pays. Le modèle auquel recourt essentiellement l'équipe de l'institut est un modèle conçu par un institut de Heidelberg, l'IFEU. Il s'agit du modèle TREMOD¹⁰². De là sont tirés l'évaluation de quelques effets produits sur l'environnement et l'équipe calcule combien un individu consomme par an et produit de pollution. Nous retrouvons là l'approche typiquement allemande des modes de comportements ramenés aux individus.

Le modèle TREMOD utilisé par l'institut est public, tandis que celui spécifiquement conçu par l'Institut est « protégé ». Une certaine méfiance vis-à-vis des grands modèles est exprimée par le professeur Schallabock. D'où la création de petits modèles adaptés aux contextes locaux. Les grands modèles ne répondent pas aux questions, lorsqu'il s'agit de traiter de grands effets sur l'environnement local. A l'usage, les modèles portant sur des grands nombres révèlent des erreurs en face des petits modèles (trafic aérien, transport des marchandises). Les autres limites sont relatives aux hypothèses non réalistes, avec des systèmes de calcul surannés, et sans innovation à l'intérieur de ces modèles. Prenant l'exemple des véhicules personnels, le rapport entre type de véhicule et la richesse du propriétaire peut être admissible à l'échelle du pays ou de l'Europe, mais à l'échelle mondiale, l'erreur devient fondamentale.

Les données relatives aux voies de communication sont valables et sûres sur de petites surfaces, à l'échelon local. En Allemagne, nous en sommes même à ignorer le nombre de km des routes qui la sillonnent ! Au niveau des communes, nous ne savons même pas combien de km de routes sont tracés. L'estimation connaît une marge d'erreur déjà de 50%, avec de grandes variations dans les estimations. Par exemple, le nombre de passagers par véhicule connaît de grands écarts par pays et

¹⁰² <http://www.umweltbundesamt.de/verkehr/datenumodelle/emission/tremod/tremod.htm>

par an. Nous renonçons aux modèles achevés pour comprendre ce qui se passe localement et dans le détail.

Les grands camions inférieurs à 35 tonnes parcourent environ 1 million de km par an, comme s'ils fonctionnaient 24 h/ 24 et 365 jours par an. Le modèle fixe ce million de km alors que c'est une donnée irréaliste. Cela pourrait être 350 km par an seulement. Donc les erreurs sont dans les deux sens. Des formules simples permettent de ne pas douter du résultat : le nombre de km / véhicule x nombre de véhicules = un total de km. Les habitudes de travail prises vont du plus simple vers le plus compliqué, alors que c'est l'inverse qu'il faut faire. Ce qui conduit à faire des tableaux en deux dimensions plus des transversales.

Le risque considéré par le professeur Schallabock dans ces travaux de modélisation trop ambitieux est de mélanger en outre tous les modes de transport, entre ceux des administrations, des particuliers, des professionnels, des industriels... Dans le cas des transports routiers, cette approche géographique est valable pour les villes mais pas nécessairement hors des villes. Pour le bruit, il est aisé de se reporter à la géographie, mais pour les gaz à effet de serre ce n'est plus vraiment pertinent. Le professeur Becker a engagé une recherche sur les écoulements des eaux (humidité sur les routes, laquelle retient la poussière au sol). Or dans la réalité, il en va tout autrement. Dans le cas du caisson ou d'un mur anti-bruit, les phénomènes de turbulences et de tourbillons deviennent incompréhensibles. Dans le cas des sons, il ne peut être question de mesurer la dispersion des émissions.

5) Typologie des modèles Transport¹⁰³ établie par la DLR

Loin de penser que notre précédente typologie réponde spécifiquement à une typologie stable et suffisante, nous proposons de se reporter à une typologie des modèles établie par l'organisme fédéral allemand sur le transport ou DLR. Cette typologie selon des caractéristiques techniques et méthodologiques des modèles répertoriés nous paraît très éclairante et complémentaire de la précédente. Chacun de ces types de modèle renvoie à un site Web spécifique pour en identifier les composantes et les concepteurs ou diffuseurs.

A. Nachfragemodelle (modèle d'analyse de la demande)

Integrierte Nachfragemodelle (intégrés)

Verkehrserzeugungsmodelle (production des transports)

Verkehrsmittelwahlmodelle (choix de moyen de transport)

Verkehrsverteilungsmodelle (répartition du trafic)

B. Umlegungsmodelle (de répartition)

dynamisch (dynamique)

statisch (statique)

C. Ablauf-/Flussmodelle (débit, fluidité)

Aggregiert (agrégé)

Makroskopisch (macroscopique)

Mesoskopisch (mésoscopique)

Mikroskopisch (microscopique)

Submikroskopisch (sumicroscopique)

D. Integrierte Modelle/Simulationssoftware (intégrés, logiciels de simulation)

Aggregiert (agrégé)

Makroskopisch, (macroscopique)

Mesoskopisch (mésoscopique)

Mikroskopisch (microscopique)

Submikroskopisch (submicroscopique)

E. Trendmodelle (modèles de tendance)

Global (globale)

Kontinent (continentale)

Laender (plusieurs pays)

Land (pays)

¹⁰³ voir liste détaillée des modèles Transport répertoriés : <http://modelle.clearingstelle-verkehr.de/> ; 2005 Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR).

[Lokal](#) (local)

[Regional](#) (régional)

[F. Umweltorientierte Modelle](#) (environnementaux)

[Ausbreitungsmodelle](#) (propagation)

[Emissionsmodelle](#) (émission)

[Expositions-/Wirkungsmodelle](#) (exposition et effet)

[Flächennutzungsmodelle](#) (utilisation des sols)

[Immissionsmodelle](#) (immission)

[Ressourcen-/ Stoffstrommodelle](#) (ressources, énergétiques et matérielles)

[Sonstige Umweltmodelle](#) (autres modèles environnementaux)

[G. Sonstige Modelle](#) (autres modèles)

[Evakuierungsmodelle](#) (évacuation)

[Fussgaengermodelle](#) (piéton)

[Logistikmodelle](#) (logistique)

[Unfallmodelle](#) (accident)

6) Typologie des modèles Transport & Environnement (Umweltbundesamt, UBA)¹⁰⁴

La liste des rubriques suivantes offre une typologie par secteurs de l' environnement : techniques alternatives, émissions, bruit...Chacune des rubriques renvoie aussi à un site Web spécifique pour décrire les caractéristiques techniques de ces modèles.

[alternative Antriebstechnik](#) (technique de déplacement alternatif)

[Daten und Modelle](#) (bases de données et modèles)

[Emissionen](#) (modèles d'émission)

[Kraft- und Betriebsstoffe](#) (matières et ressources consommables)

[Lärm](#) (bruit)

[nachhaltige Entwicklung](#) (développement durable)

[Verkehrsplanung](#) (planification des transports)

[Verkehrsträger](#) (transporteurs)

[Wirtschaftliche Aspekte](#) (aspects économiques)

¹⁰⁴ voir sur site : <http://www.umweltbundesamt.de/verkehr/datenumodelle/emission/citair/citair.htm>

7) Récapitulatif de quelques modèles

L'Office fédéral de l'Environnement¹⁰⁵ met en ligne l'accès à des données et des modèles portant sur les impacts écologiques issus des activités des différents transporteurs (routiers, aéronautique). Le recours à des statistiques officielles et à la littérature secondaire. Sur la base des données saisies, les émissions du bruit, des polluants aériens et des gaz d'émission à effet de serre sont calculées. Pour cela des modèles et des programmes informatiques sont utilisés par le Umwelt Bundes Amt (UBA) ou Office fédéral de l'Environnement en Allemagne.

- [Verkehrsdaten](#) (données transport)

1) Modèles d'émission des gaz à effet de serre :

- Verkehrsmodelle-Emissionsberechnung (modèles de transport de calcul d'émissions)
 - [Daten und Modelle](#) avec renvoi en ligne sur le HBEFA (The Handbook Emission Factors for Road Transport)
 - [CITAIR](#) modèle
 - [TREMOT](#) modèle (Transport Emission Estimation Model) TREMOD-Calculations, TREMOD 2.0, 2002; Höpfner Ulrich
 - COPERT/FOREMOVE; Andrias, 1993, Samaras, 1991
 - CORINAIR/COPERT : Méthodologie pour l'estimation des émissions de molécules éco-toxiques (Benzène, toluène) issues du trafic routier
 - GEMIS : Global emission Model for integrated Systems, GEMIS 4.0, 2001, Oko-Institut, Darmstadt (www.gemis.de)

4) Modèles américains de dispersion

- Urban dispersion modelling system (UDM-FMI)
- Road network dispersion model (CAR-FMI)
- Operational Street Pollution Model (OSPM, Hertel et Berkowicz, 1989)
- ExTC
- Aurora
- TEMAT
- Vitomodels

¹⁰⁵ <http://www.umweltbundesamt.de/verkehr/datenumodelle/verkehdata/verkdaten.htm>; Umweltbundesamt · Postfach 1406 · 06813 Dessau.

5) Modèle de pollution des sols

- Modèle américain EMSOFT, de l'EPA USA (United States Environmental Protection Agency, 1997 ; modèle d'exposition pour les Fate (???) organiques dans les sols (flux des masses dans le temps des molécules organiques dues à la volatilisation depuis la contamination des sols vers l'atmosphère)

6) Bruit

- Modèle MISKAM (modèle dispersion des vents, pouvant être par similitude appliqué à la dispersion des bruits)
- Logiciel LIMA
- Logiciel CaDnaa
- SOUNDPLAN
- IMMI

VIII La valorisation de la recherche en modélisation

Nous avons fait mention de l'usage d'une série de modèles, soit conçus par les établissements universitaires allemands pour rester dans le domaine public, soit développés, diffusés et commercialisés par des structures privées. Il reste toutefois des contraintes quant à ces opportunités de valorisation de la recherche, parmi lesquelles nous retiendrons :

- Pour passer au stade d'une commercialisation de modèles requérant des données de type topographique ou encore économique, la nécessité repose sur la fourniture d'informations précises et de données détaillées. Par exemple, l'usage de CORINE par la société PTV tient essentiellement à l'apport des inputs servant à alimenter les modèles de trafic et d'évaluation des impacts. CORINE est considéré comme un élément source pour tenter d'élaborer ces modèles CITY-REGIO-TEN et en découvrir les potentialités.
- Les coûts d'obtention de ces données détaillées, voire très spécifiques en fonction des territoires (principe de spécificité de territoires), évitant les extrapolations, demeurent très dissuasifs. En outre, la collecte de ces données et leur analyse dans toutes les villes d'Europe, devient un exercice laborieux et onéreux. Or l'application de ces modèles tend à être courante du fait de réglementations européennes, avec obligation de fournir des données détaillées sur les impacts en vue d'une prise de décision objective et d'obtenir des résultats probants. Les coûts sont d'autant plus élevés qu'il s'agit d'investir dans des équipements informatiques lourds et d'acheter des banques et sources de données. Le cas est remarquable avec TEN-SUSTAIN, lequel requiert des données très précises sur les abords des axes routiers (bandes latérales de 4 km, soit 2 km de chaque côté), sans lesquelles les questions suivantes restent sans réponse : « Si les effets de trafic routier sont locaux, comment se répartissent les groupes de populations riveraines autour ? Cette population est-elle homogène ? ». Enfin, seuls les Länders et les régions allemandes sont susceptibles de se procurer ces outils de modélisation, mais certainement pas les villes dotées de moyens insuffisants.
- l'abandon d'un outil après quelques années d'expérience ou la rapide obsolescence de l'outil peuvent dissuader les initiatives de valorisation ou simple développement d'une recherche engagée. Ainsi, l'élaboration du modèle CITY-SUSTAIN par l'IWW, sans commande publique, a vu le modèle fonctionner sur Stuttgart entre 2002 et 2003. Les mesures prises depuis par la ville de Stuttgart sur les impacts environnementaux ne reposent plus sur ces modèles mais prennent en compte les recommandations que le laboratoire a pu effectuer.
- l'absence d'explicitation des critères retenus lors de lancement de programmes européens compromettent l'adoption de certains modèles, à l'image du CITY-SUSTAIN : le problème restant « quels sont les critères retenus ? ». Sont bien pris en compte les paramètres des limites de charges et de volumes de trafic sur ces différents axes routiers, mais ces paramètres ne semblent pas préoccuper les instances européennes.

Les quelques études menées sur la prise en charge du bruit relatif aux flux de transports, au travers le recours à la source de données CORINE, auraient pu déboucher sur des mesures économiques, mais l'approche a été considérée comme trop grossière. La demande ne provient pas de l'Union européenne mais ces modèles peuvent répondre à ce besoin d'évaluation des effets produits par les trafics. Cette étude n'avait pas pour vocation première de s'inscrire dans un programme européen tel que HARMONOISE.

Les travaux du laboratoire de l'IWW relèvent de la recherche publique universitaire et ne prévoient pas de protection des travaux. Dans le cas où l'Union européenne s'y intéresse, il y a possibilité de diffuser ces travaux mais sans commercialisation. Il s'agit bien d'une recherche et d'une méthode de travail et non pas une souscription à un programme européen. La méthode fait l'objet d'un enseignement théorique auprès des étudiants avec l'intérêt d'une démonstration sur une application concrète.

Les relations franco-allemandes sont assez occasionnelles, du fait des barrières de langues. Les réunions internationales menées dans le cadre européen sont les seules véritables occasions d'échanger avec les pays membres dont la France. Toutefois, un organisme de coopération franco-allemande, le COFRACO, a été mentionné par la société PTV comme étant une structure adéquate pour maintenir ces liens.

La recherche en modélisation des transports est très active en Allemagne, du fait d'une culture de l'ingénierie très ancrée dans l'histoire et d'une ouverture vers les recherches anglo-saxonnes dès la sortie de la seconde guerre mondiale. Axée essentiellement sur la planification des transports, cette ingénierie s'est dotée de concepts et de méthodes répondant aux enjeux liés à la montée des industries de l'automobile d'une part et aux besoins d'infrastructures très performantes pour couvrir le territoire.

Cette culture de l'ingénierie a connu une nette évolution depuis les années 80 avec l'émergence d'une sensibilité écologique très affirmée chez les nouvelles générations. Ancrée politiquement et remarquable au travers les revendications de la société civile allemande, cette sensibilité a trouvé rapidement ses marques au fil des nouveaux enseignements dispensés dans les établissements scolaires et universitaires, au travers la création d'organismes explicitement engagés dans des actions militantes pour la protection de l'environnement.

Du coup, une ingénierie de l'environnement s'est déployée, caractérisée par une recherche de rationalité scientifique dans les travaux, de recherche sur des organisations alternatives notamment en termes de déplacement. Les innovations sont apparues à l'échelle des collectivités locales par une organisation des transports publics favorisant l'inter-modalité (tram-train), ou une offre importante de desserte sur des territoires fortement contraintes. Nous songeons notamment à la couverture et au maillage étendu de la vallée de la Ruhr par un réseau ferré assurant les liaisons rapides entre de multiples agglomérations.

La recherche en modélisation des transports a servi et accompagné de très près cette ingénierie de la planification des transports en Allemagne. A ce jour, la planification reste le socle stable de cette modélisation, mais intégrant progressivement deux grandes problématiques nouvelles :

- l'évaluation des impacts environnementaux que sont les nuisances sonores et les émissions atmosphériques
- l'étude des outils d'aide à la décision sur les itinéraires routiers pour des alternatives de déplacement

Deux principales caractéristiques doivent être mentionnées en termes de culture allemande, au regard de l'approche française : une confiance complète dans les procédés de calculs sans s'en remettre à la mesure (approche calculatoire, observée dans les méthodes de modélisation du bruit), une approche intégrée des aspects, depuis ceux d'ordre social jusqu'à ceux d'ordre sanitaire (effets de santé publique) en passant par les coûts et avantages économiques. Nous avons réservé à ces travaux de modélisation dite intégrée une partie de notre rapport de façon à faire ressortir cette approche « universalisante » et globale, sans en omettre les difficultés rencontrées.

La recherche publique allemande ne détient aucunement le monopole en matière d'innovation dans la modélisation : une sorte de phénomène osmotique s'opère d'ailleurs entre laboratoires de recherche publique et sociétés d'ingénierie, voire collectivités locales. Les groupements constitués à l'occasion de marchés publics, à l'échelle locale, fédérale ou européenne, reflètent une capacité de collaboration qui s'affranchit aisément des démarcations administratives et juridiques d'une part et des contraintes de langues d'autre part.

Annexe 1 : Répertoire des organismes allemands de recherche par villes

I- KARLSRUHE

1) IWW ; Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung ; Universität Karlsruhe (TH)

- Sektion Verkehr und Kommunikation

Prof. Dr. Werner ROTHEGATTER

Universität Karlsruhe (TH), Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung, Sektion Verkehr und Kommunikation, Postfach 69 80, 76128 Karlsruhe

Besucheradresse:

[Kollegium am Schloß Bau IV](#)

Tel.: + 49 (0)721 608 3071 ; Fax: + 49 (0)721 607376; Email: rothengatter@iww.uni-karlsruhe.de

- Sektion Verkehr und Kommunikation

Burkhard SCHADE ; Dipl.-Wi.-Ing. Burkhard Schade; Email : burkhard.schade@iww.uni-karlsruhe.de

2) TTK ; Transport Technologie Konsult Karlsruhe.

TTK GmbH, Gerwigstraße 53, 76131 Karlsruhe

Tel +49 721-62503-0 ; Fax +49 721-62503-33 ; Marc Perez : Marc.Perez@TTK.de

La société TransportTechnologie-Consult Karlsruhe GmbH (TTK) est une filiale de [Albtal-Verkehrs-Gesellschaft mbH \(AVG\)](#), l'entreprise de transports publics régionaux de Karlsruhe, et de [PTV AG](#). La société AVG est connue en tant que pionnière du mode de transport mixte tram-train, tandis que la société PTV AG est la plus grande société privée, indépendante, en matière de conseil et de logiciels dans le secteur des transports en Allemagne.

Au sein du groupe PTV, TTK constitue le centre de compétences en matière de transports publics urbains et périurbains sur rails. Le partage de voies entre tram-trains et trains classiques, connu sous le nom de "[modèle de Karlsruhe](#)", représente l'un des domaines de spécialité de TTK. Forte de ses 27 collaborateurs spécialisés actuels, TTK réalise déjà un chiffre d'affaires supérieur à 2.7 millions € par an. Motivée, l'équipe TTK dispose d'un riche capital d'expérience dans tous les domaines du transport public de proximité. Les cadres dirigeants s'appuient sur de nombreuses années d'expérience professionnelle dans des entreprises de transport et connaissent toutes les facettes du métier.

3) Groupe PTV

Stumpfstraße 1 - 76131 Karlsruhe - Tel.: +49 -721-9651-0 - Fax: +49 - 721-9651-699

Branches office : Berlin, Karlsruhe, Braunschweig, Dresden, Düsseldorf, Erfurt, Munich, Stuttgart, Straßburg, Lyon

PTV AG Karlsruhe, Stumpfstr. 1, 76131 Karlsruhe

E-Mail: karlsruhe@ptv.de; Professeur Ulrich Brannolte : Prof. Dr. Ulrich Brannolte; Claudia Gluecker (modélisation) : claudia.gluecker@ptv.de

II- BERLIN

1) IVF, Institut für Verkehrsforschung

DLR, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt; Clearingstelle für Verkehrsdaten und Verkehrsmodelle; Institute of Transport Research (IVF), Rutherfordstrasse 2, 12489 Berlin

tél : +49 (0)30/67055-231; www.clearingstelle-verkehr.de

Angelika Schulz ; project manager, transport data : +49 (0)30/67055-294

Elmar Brockfeld ; transport models : +49 (0)30/67055-231 (mail : Elmar.brockfeld@dlr.de)

Peter Wagner ; transport models : +49 (0)30/67055-237

2) DIW Berlin ; Deutsches Institut Für Wirtschaftsvorschung

Hartmut KUHFIELD; Energie, Verkehr, Umwelt (département Energie, Transport, Environnement)

DIW; Berlin, Königin-Luise-Straße 5, 14195 Berlin

Tél : +49.30.89789-353 ; Fax : +49.30.89789 113; hkuhfeld@diw.de

Dr Heike LINK; Energie, Verkehr, Umwelt; hlink@diw.de

3) European Academy for the Urban Environment

Bruit, projet HEAVEN; Hanns-Uve Schwelder; EA UE, Bismarckallee, 46/48, D 14193 Berlin

Tél : +49 (0)30/8959-990; Contact: Hanns-Uve Schwelder; husch@eaue.de

4) Umweltbundesamt Institute

Verron Hewig; Goriben Norbert; Kolke Reinhard

III- WUPPERTAL

Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy

Doppersberg 19, 42103 Wuppertal, P.O. Box 10 04 80, 42004 Wuppertal, Germany

Stefan Thomas : Director of the Research Group "Energy, Transport and Climate Policy"

Lechtenböhrer, Stefan; courriel : stefan.lechtenboehmer@wupperinst.org; Phone +49-202/2492-216

IV- GAPPENACH

PUTV : Projektvorschung Unternehmensberatung Transport un Verkher

Mail info@putv.de; Telefon / Fax 0 26 54 - 98 71 26;

Postadresse P.U.T.V. GbR; Kolpingstrasse 24 ; 56294 Gappenach; Binnenbruck Horts-Hermann

V- DUISBURG (ESSEN)

1) Université de DUISBURG (Essen)

Department of Physics ; Physics of Transport and Traffic; University Duisburg-Essen ; Lotharstr. 1 ; 47057 Duisburg ; Germany

[University Duisburg-Essen](http://UniversityDuisburg-Essen) [Department of Physics](http://DepartmentofPhysics) ; **Physics of Transport and Traffic**

[Prof. Dr. Michael Schreckenber](http://Prof.Dr.MichaelSchreckenber) ; schreckenber@uni-duisburg.de

Modelling of traffic flow : Based on the Nagel-Schreckenberg-Model we are investigating the dynamics of cellular automata models with slightly modified rules. This is done in order to model a variety of effects known in real traffic scenarios. An example may be the so-called *VDR-models* (velocity dependent randomization), here we focus on the occurrence of metastable states or the synchronized traffic, e.g.

VI-DESSAU (Saxe)

University of Dortmund; Umweltbundesamt · Postfach 1406 · 06813 Dessau

Telefon: +49 (0)340 2103-0 · Fax: +49 (0)340 2103-2285

www.umweltbundesamt.de/index.htm

VII- DORTMUND

Institut für Raumplanung, Institut de planification spatiale (IRPUD)

Equipe de Michael Wegener à Dortmund ; <http://www.raumplanung.uni-dortmund.de>

Prof. Dr. Michael Wegener ; mw@irpud.rp.uni-dortmund.de

Spiekermann & Wegener GmbH; Urban and Regional Research; Lindemannstrasse 10, D-44137

Dortmund; mail: mw@spiekermann-wegener.de

VIII) COLOGNE

Center for Applied Informatics (ZAIK), University of Cologne

Weyertal 80, 50923 Cologne, Germany

Telephone: +49 (0) 221 4706010, FAX: +49 (0) 221 4705160; Email: graefe@zpr.uni-koeln.de

Annexe 2 : Liste des principales universités allemandes (liens sites Internet)

- [Albert-Ludwigs-Universität Freiburg](#) - Albert Ludwig University, Freiburg
- [Bauhaus Universität Weimar](#) - Bauhaus University, Weimar
- [Bayerische Julius-Maximilians-Universität](#) - Julius Maximilian University, Wuerzburg
- [Bergische Universität - Gesamthochschule Wuppertal](#) - University of Wuppertal, Wuppertal
- [Carl von Ossietzky Universität Oldenburg](#) - Carl von Ossietzky University Oldenburg, Oldenburg
- [Christian-Albrechts-Universität Kiel](#) - Christian Albrecht University, Kiel
- [Deutsche Sporthochschule Köln](#) - DSH - Deutsche Sporthochschule Köln, Köln
- [Eberhard-Karls-Universität Tübingen](#) - Eberhard Karl University, Tuebingen
- [Ernst-Moritz-Arndt-Universität, Greifswald](#) - Ernst Moritz Arndt University, Greifswald
- [Europa Universität Viadrina Frankfurt \(Oder\)](#) - European University Viadrina Frankfurt (Oder)
- [Fernuniversität Hagen](#) - Open University of Germany, Hagen
- [Freie Universität Berlin](#) - Free University Berlin
- [Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg](#) - Friedrich-Alexander University, Erlangen-Nuremberg
- [Friedrich-Schiller-Universität Jena](#) - Friedrich Schiller University, Jena
- [Georg-August-Universität Göttingen](#) - University Georg August, Goettingen
- [Gerhard-Mercator-Universität GH Duisburg](#) - Gerhard Mercator University, Duisburg
- [Hamburger Universität für Wirtschaft und Politik](#) - HWP Hamburg - Hamburger Universität für Wirtschaft und Politik, Hamburg
- [Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf](#) - Heinrich Heine University, Duesseldorf
- [Humboldt-Universität Berlin](#) - Humboldt University of Berlin
- [International University Bremen](#) - IUB - International University Bremen, Bremen
- [International University in Germany](#) - International University in Germany - University of Bruchsal

- [Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt](#) - Johann Wolfgang Goethe University, Frankfurt
- [Johannes Gutenberg-Universität](#) - University Johannes Gutenberg, Mainz
- [Justus-Liebig-Universität Giessen](#) - University Justus Liebig, Giessen
- [Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt](#) - Catholic University of Eichstaett, Ingolstadt
- [Kirchliche Hochschule Bethel](#) - Kirchliche Hochschule Bethel, Bethel-Bielefeld
- [Leipzig Graduate School of Management](#) - HHL - Leipzig Graduate School of Management, Leipzig
- [Ludwig-Maximilians-Universität München](#) - University Ludwig Maximilian, Muenchen
- [Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg](#) - University Martin Luther Halle-Wittenberg, Halle
- [Otto-Friedrich-Universität Bamberg](#) - University Otto Friedrich, Bamberg
- [Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg](#) - University Otto von Guericke, Magdeburg
- [Philipps-Universität Marburg](#) - Philipps University, Marburg
- [Private Universität Witten/Herdecke GmbH](#) - University of Witten/Herdecke, Witten
- [Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn](#) - Friedrich Wilhelm University, Bonn
- [Ruhr-Universität Bochum](#) - Ruhr University Bochum, Bochum
- [Ruprecht-Karls-Universität](#) - Ruprecht Karl University, Heidelberg
- [Schiller International University](#) - SIU - Schiller International University, Heidelberg
- [Stuttgart University of Applied Sciences](#) - Stuttgart University of Applied Sciences, Stuttgart
- [Umwelt-Campus Birkenfeld, Fachhochschule Trier](#) - Environmental Campus, Birkenfeld
- [Universität Augsburg](#) - University of Augsburg, Augsburg
- [Universität Bayreuth](#) - University of Bayreuth, Bayreuth
- [Universität Bielefeld](#) - University of Bielefeld
- [Universität Bremen](#) - University of Bremen, Bremen
- [Universität der Bundeswehr Hamburg](#) - University of The Federal Armed Forces, Hamburg
- [Universität des Saarlandes](#) - University of the Saarland

- [Universität Dortmund](#) - University of Dortmund, Dortmund
- [Universität Erfurt](#) - Erfurt University, Erfurt
- [Universität Flensburg](#) - Universität Flensburg, Flensburg
- [Universität Gesamthochschule Essen](#) - University of Essen, Essen
- [Universität Gesamthochschule Kassel](#) - University of Kassel, Kassel
- [Universität Gesamthochschule Paderborn](#) - University of Paderborn, Paderborn
- [Universität Gesamthochschule Siegen](#) - University of Siegen
- [Universität Hamburg](#) - University of Hamburg, Hamburg
- [Universität Hannover](#) - University of Hannover, Hannover
- [Universität Hildesheim](#) - University of Hildesheim, Hildesheim
- [Universität Hohenheim](#) - University of Hohenheim, Stuttgart
- [Universität Kaiserslautern](#) - University of Kaiserslautern, Kaiserslautern
- [Universität Karlsruhe](#) - University of Karlsruhe, Karlsruhe
- [Universität Koblenz-Landau](#) - University of Koblenz-Landau, Koblenz
- [Universität Köln](#) - University of Koeln, Koeln
- [Universität Konstanz](#) - University of Konstanz, Konstanz
- [Universität Leipzig](#) - University of Leipzig, Leipzig
- [Universität Lüneburg](#) - University of Lueneburg, Lueneburg
- [Universität Mannheim](#) - University of Mannheim, Mannheim
- [Universität Osnabrück](#) - University of Osnabrueck, Osnabrueck
- [Universität Passau](#) - University of Passau, Passau
- [Universität Potsdam](#) - University of Potsdam
- [Universität Regensburg](#) - University of Regensburg, Regensburg
- [Universität Rostock](#) - University of Rostock, Rostock
- [Universität Stuttgart](#) - University of Stuttgart, Stuttgart

- [Universität Trier](#) - University of Trier, Trier
- [Universität Ulm](#) - University of Ulm, Ulm
- [Universität zu Lübeck](#) - Universität zu Luebeck, Luebeck
- [Westfälische Wilhelms-Universität](#) - Wilhelms-University Westfalen, Muenster

Fachhochschule :

- [Brandenburgische Technische Universität Cottbus](#) - Brandenburg Technical University of Cottbus, Cottbus
- [Fachhochschule Aalen](#) - Fachhochschule Aalen Hochschule für Technik, Aalen
- [Fachhochschule Albstadt-Sigmaringen](#) - Fachhochschule Albstadt-Sigmaringen - Hochschule für Technik und Wirtschaft, Albstadt-Sigmaringen
- [Fachhochschule Amberg-Weiden](#) - Fachhochschule Amberg-Weiden - Hochschule für Technik und Wirtschaft, Amberg-Weiden
- [Fachhochschule Esslingen - Hochschule für Technik](#) - Fachhochschule Esslingen - Hochschule für Technik, Esslingen
- [Fachhochschule Karlsruhe](#) - University of Technology, Karlsruhe
- [Fachhochschule Mannheim](#) - Fachhochschule Mannheim - Hochschule für Technik und Gestaltung, Mannheim
- [Rheinisch Westfälische Technische Hochschule](#) - Rheinisch Westfaelische Technische Hochschule, Aachen
- [Technische Fachhochschule Berlin](#) - Technical College of Berlin
- [Technische Fachhochschule Wildau](#) - Technische Fachhochschule Wildau, Wildau
- [Technische Universität Bergakademie Freiberg](#) - Technical University of Freiberg
- [Technische Universität Berlin](#) - Technical University of Berlin
- [Technische Universität Braunschweig](#) - Technical University of Braunschweig
- [Technische Universität Chemnitz-Zwickau](#) - Technical University Chemnitz-Zwickau, Chemnitz
- [Technische Universität Clausthal](#) - Technical University of Clausthal
- [Technische Universität Darmstadt](#) - Darmstadt University of Technology, Darmstadt

- [Technische Universität Dresden](#) - Technical University of Dresden
- [Technische Universität Hamburg-Harburg](#) - Technical University Hamburg-Harburg, Hamburg
- [Technische Universität Ilmenau](#) - Technical University of Ilmenau
- [Technische Universität München](#) - Technical University of Muenchen

Annexe 3 : Liste complémentaire de cabinets allemands d'ingénierie Transport

- BSV Büro für Stadt- und Verkehrsplanung Dr.-Ing. Reinhold Baier GmbH, Aachen,
- EUROVIA Services GmbH, Bottrop
- A. Frauenrath Bauunternehmen GmbH & Co. KG, Heinsberg,
- Maschinen- und Gerätebau JOSEF FREUNDL, Wennigsen,
- GfB Baustoffprüfstelle Erft-Labor GmbH, Euskirchen,
- GSA - Gesellschaft für Straßenanalyse mbH, Kaiserslautern,
- HB-Verkehrsconsult GmbH, Lörrach,
- Heitkamp Erd- und Straßenbau GmbH, Herne,
- Heusch/Boesefeldt GmbH, Aachen,
- Matthias Heyer Straßenbaustoffe GmbH, Wegberg,
- Ingenieurgesellschaft nts mbH, Münster,
- Institut für Straßenwesen Aachen, RWTH Aachen,
- KOAC NPC, Apeldoorn (NL),
- Kocks Consult GmbH, Koblenz,
- Mechatronic GmbH, Darmstadt,
- momatec GmbH, Aachen,
- Müller-BBM GmbH, Planegg,
- Adolf Nissen Elektrobau GmbH & Co. KG, Tönning,
- PTV Planung, Transport, Verkehr AG, Karlsruhe,
- Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH, Düsseldorf,
- SECUTECH GmbH, Mannheim,
- Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e. V. (STUVA), Köln,
- Theis Consult Beratende Ingenieure, Aachen/Potsdam,
- Volkmann & Rossbach GmbH & Co. KG, Montabaur,
- Martin Wurzel, Baugesellschaft mbH, Jülich

Annexe 4 : Liste des organismes allemands dans le domaine des transports :

1) Mitgliedschaften in Kammern :

Ingenieur Kammer Bau: www.ikbaunrw.de

2) Mitgliedschaften in Berufsverbänden und Fachvereinigungen :

DVWG: www.dvwg.de

VSVI: www.vsvi.de

SETAC: www.setac.rwth-aachen.de

FGSV: www.fgsv.de

SRL: www.srl.de

BDB: www.baumeister-online.de; www.bdb-nrw.de; www.bdb-aachen.de

3) Verkehrssicherheit :

Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft (GDV): www.gdv.de

Deutsche Verkehrswacht (DVW): www.deutsche-verkehrswacht.de

Landesverkehrswacht Baden-Württemberg: www.lvw-bw.de

Landesverkehrswacht Bayern: www.verkehrswacht-bayern.de

Landesverkehrswacht Hessen: www.verkehrswachthessen.de

Landesverkehrswacht Mecklenburg-Vorpommern: www.lvw-mv.de

Landesverkehrswacht Niedersachsen: www.landesverkehrswacht.de

Landesverkehrswacht Nordrhein-Westfalen: www.landesverkehrswacht-nrw.de

Landesverkehrswacht Schleswig-Holstein: www.lvw-sh.de

Landesverkehrswacht Thüringen: www.landesverkehrswacht-thu.de

Landesverkehrswacht Hamburg: www.verkehrswacht-hamburg.de

DEKRA: www.dekra.de

Beleuchtung: www.strassenlicht.de

Der 7. Sinn: www.wdr.de/tv/service/verkehr/rubrik/sinn.phtml

Verkehrsportal: www.verkehrsportal.de

Sichere Straßen: www.sicherestrassen.de

4) Verkehrsministerien :

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: www.bmvt.de

Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg: www.uvm.baden-wuerttemberg.de

Bayrisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie:

www.stmwvt.bayern.de

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin: www.stadtentwicklung.berlin.de

Ministerium für Infrastruktur und Raumordnung Brandenburg: www.mir.brandenburg.de

Senator für Bau, Umwelt und Verkehr Bremen: www.bauumwelt.bremen.de

Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung: www.wirtschaft.hessen.de

Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr: www.mw.niedersachsen.de

Ministerium für Bauen und Verkehr Nordrhein-Westfalen: www.mbv.nrw.de

Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau Rheinland-Pfalz: www.mwvlw.rlp.de

Ministerium für Bau und Verkehr Sachsen-Anhalt: www.mbv.sachsen-anhalt.de

Ministerium für Wirtschaft, Technologie und Verkehr Schleswig-Holstein: www.schleswig-holstein.de/landsh/mwvtv

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Infrastruktur Thüringen: www.th-online.de

5) Verkehr - Spiel und Spaß :

Mobility Verkehrssimulationsspiel : www.mobility-online.de

6) Verkehr - Institutionen, Verbände, Vereine :

Bundesanstalt für Straßenwesen BASt: www.bast.de

Krafftahrt Bundesamt: www.kba.de

Bundesamt für Güterverkehr: www.bag.bund.de

Deutscher Verkehrssicherheitsrat DVR: www.dvr.de

Kuratorium für Verkehrssicherheit (Österreich): www.kfv.or.at

Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu: www.bfu.ch

Institut für Verkehrsforschung ISK: www.isk.de

Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft: www.gdv.de

Allgemeiner deutscher Automobilclub ADAC: www.adac.de

Automobilclub von Deutschland AVD www.avd.de

Verkehrsclub Deutschland VCD: www.vcd.org

7) Verkehrserziehung :

Intelligente Umwelt- und Verkehrserziehung: www.intelligent-mobil.de

Curriculum Mobilität - Niedersächsisches Kultusministerium: www.curriculum-mobilitaet.de

Gib acht im Verkehr - Verkehrssicherheitsaktion in Baden-Württemberg: www.gib-acht-im-verkehr.de

Verkehrserziehung auf dem deutschen Bildungsserver: dbs.schule.de

Verkehrserziehung bei Menschen mit geistiger Behinderung: www.sonderpaed-online.de/gd/verkehr.htm

Verkehrserziehung im Unterricht: www.europolis.org/stadt_malchin/blumenschule/verk.htm

Verkehrs- und Sicherheitstraining : www.gymnasium-marktbreit.de/verkeh

8) Umwelt und Verkehr :

Umwelt.de - Der deutsche Umweltserver: www.umwelt.de

Arbeitskreis Umwelt und Verkehr: www.umkehr.de

Umweltbundesamt: www.umweltbundesamt.de

Umweltbildung.de: www.umweltbildung.de

9) Radverkehr :

Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club ADFC: www.adfc.de

Arbeitsgemeinschaft "Fahrradfreundliche Städte und Gemeinden NRW" :

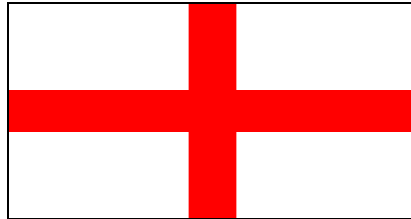
www.fahrradfreundlich.nrw.de

Fahrradwochen der Deutschen Verkehrswacht: www.fahrradwochen.de

Fahrrad-Tourismus: www.bettundbike.de; deutschland-tourismus.de/radfahren/

Fahrradstationen: www.radstation.de

11. La recherche dans les domaines modélisation transport / environnement en ANGLETERRE



Cyrille Harpet (Economie & Humanisme)
Janvier 2006

I. Introduction : contexte et présentation de la mission

1. Contexte

Nous limiterons la présente étude au territoire de l'Angleterre, en apportant toutefois au préalable quelques éléments relatifs à l'histoire du Royaume-Uni

Le Royaume Uni aura perdu son qualificatif de britannique en 1949, ayant été sérieusement appauvri par les guerres mondiales et la perte de son empire colonial : le *British Commonwealth of Nations* (créé en 1931). En 1945 le gouvernement travailliste a nationalisé les chemins de fer et les transports routiers, bénéficiant du plan Marshall. En 1951 le gouvernement conservateur privatise les transports routiers. Entre 1979 et 1990, malgré les ressources apportées par le pétrole exploité en mer du Nord, les chemins de fer sont privatisés et les crédits routiers sont fortement réduits. Le parc automobile est important : plus de vingt millions de voitures et près de trois millions de poids lourds. Le réseau routier est dense : près de 400 000 kilomètres de routes (qui, pour des raisons historiques, sont souvent étroites et sans accotement) et 3000 kilomètres d'autoroutes.

Dans le domaine de la planification des transports, lequel renvoie essentiellement aux projets d'infrastructures et de modes de transports, de plans de circulation ou de déplacements, d'aménagement (type réhabilitation des Docklands de Londres)¹⁰⁶, il faut rappeler l'apparition des premières grandes sociétés d'ingénierie civile au Royaume-Uni au début du siècle dernier (Rendel Palmer, créé en 1838), associées aux grands projets d'industrialisation de l'Europe occidentale et le développement des empires coloniaux. Le concept de Transport Planning apparaît au Royaume-Uni

¹⁰⁶ Cf Radioscopie de l'ingénierie-conseil de transport et de circulation en Europe, Eric Baye, Economie & Humanisme, article de 2001 Plus-Veille internationale, n°47, Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, 2001.

dans les années 1930 autour des axes routiers et ferroviaires, notamment au sein de l'Imperial College de Londres, lequel dispense dès cette époque des formations transports, et au sein du Road Research Laboratory dans les années 1940. La reconstruction à l'issue des guerres puis l'accroissement de la circulation des hommes et des marchandises à partir des années 1950, vont accentuer le rôle décisif d'une planification des transports pour répondre à ces besoins, d'où l'émergence d'une ingénierie spécialisée. Dans les années 1960 et 1970, le Transport Research Laboratory (ex-Road Research Laboratory), les services techniques des grandes villes et certaines grandes universités (Southampton, Imperial College de Londres, Leeds...) vont tenir une place centrale dans l'élaboration des doctrines en matière de planification des transports et de l'organisation de la circulation (ingénierie de trafic). L'introduction des techniques de prévision du trafic par des consultants américains, notamment avec Tippet Abbey MacCarthy Stratton (TAMS), Wilbur Smith puis A.Voorhees (AMV) va générer des études spécifiques et pointues (Londres en 1962, Glasgow en 1964, Newcastle en 1967) et au retentissement parfois hors des frontières du Royaume-Uni (cas du célèbre rapport « Traffic in Towns » remis au gouvernement central de Colin Buchanan en 1962). Une ingénierie britannique de trafic et de modélisation se constituera au point de « britanniser » progressivement des bureaux d'études américains (cas de AMV devenu MVA).

Les années 1970 connaîtront un fléchissement des commandes publiques en matière d'ingénierie des transports alors que les cabinets d'étude se sont multipliés et spécialisés, au point de se répartir des compétences et des domaines très spécifiques (compartmentation par modes de déplacement, par méthodes d'approche, par secteurs scientifiques etc). Cette tendance à la démultiplication des équipes de spécialistes des transports (ingénierie de la planification et de la circulation) au sein de petites structures privées ou de grands groupes risquait de morceler et de perdre un savoir-faire accumulé alors au sein des services publics. On observera toutefois au Royaume-Uni une floraison de sociétés géantes d'ingénierie-conseil, devenus des géants au niveau international (Kellogg, Bechtel, Lavallin, Ove Arup...) allant jusqu'à former parfois de véritables conglomérats de l'ingénierie héritière de la grande tradition de l'ingénierie civile (structural engineering) et dotés de compétences très diversifiées (polyvalence accrue, allant de la maîtrise d'œuvre à la maintenance, voire à l'exploitation des réseaux)¹⁰⁷.

Notre présente étude portera plus spécifiquement sur les organismes publics de recherche, essentiellement laboratoires et instituts universitaires britanniques. Une investigation préalable réalisée sur Internet avant la mission sur place a permis d'identifier des laboratoires de recherche appartenant aux départements d'ingénierie civile et d'environnement. Le repérage de ces organismes publics a pour intérêt de dénombrer systématiquement par université et donc par territoire (communes, agglomérations urbaines) les sites principaux de recherche et ingénierie dans le domaine des transports.

Une vingtaine d'établissements universitaires a été identifiée puis nous avons élargi la recherche à d'autres établissements, privés et publics, sans toutefois prétendre à l'exhaustivité ou à une forte représentativité. Les cinq entretiens menés, denses en contenu et de longue durée, ont permis non

¹⁰⁷ W.S.Atkins plc, Ove Arup, Gibb Ltd, Mott MacDonald, Hyder Consulting, Maunsell, Rust Ltd, Halcrow Group, Halcrow et Partners, Scott Wilson, JA Kirkpatrick & P, Postford Duvivier, Tarmac Professional Services, Babtie Group, Oscar Faber...

seulement de mieux apprécier l'ampleur des travaux engagés par chacun mais aussi de discerner l'étendue des partenariats et collaborations entrepris.

2. Mission en Angleterre

La mission prévue en Angleterre s'est déroulée dans une période moins favorable aux précédentes missions (Canada, Allemagne et Japon) pour des questions de disponibilité des chercheurs et universitaires. La période de fin d'année durant laquelle nous nous sommes rendus sur place, du 5 au 10 décembre 2005, était peu favorable aux rencontres du fait d'une multitude d'enseignements ou de contributions de recherche à assurer. Le taux de réponse aux demandes d'entretiens a été en conséquence assez faible : sur quinze demandes d'entretiens, seulement cinq ont été satisfaites, non par refus mais bien par la charge des activités des interlocuteurs. La mission a permis toutefois d'accorder un temps d'entretien confortable (jusqu'à 4 heures successives) et de collecter une masse documentaire importante. Certes, des établissements auraient mérité effectivement un entretien avec des chercheurs jugés incontournables sur la problématique Transport/Environnement, ou des pôles universitaires très en vue sur ces questions (nous songeons ici à Bristol et Cambridge). Pour ne pas concentrer nos investigations sur le territoire londonien, nous avons élargi la prospection à d'autres agglomérations britanniques, dont Leeds apparaît comme particulièrement pointue sur les questions de la mobilité et de la modélisation des transports. Les deux entretiens ainsi les plus denses en contenu et en ouverture sur les spécialistes de la modélisation Transport / Environnement sont ceux menés auprès de l'université de Southampton et Leeds.

Si le nombre d'entretiens menés (voir liste ci-dessous) ne permet pas de dégager une idée fidèle et représentative de la recherche en modélisation des déplacements en Angleterre et encore moins à l'échelle du Royaume-Uni, l'inventaire dressé des principaux centres de recherche universitaires permet de donner un ordre de grandeur de ces pôles d'activité Il manquera encore à cette prospection la sollicitation de domaines de compétences tels que ceux des urbanistes, des environnementalistes (sous-représentés), des météorologues et des architectes.

Pour compléter cet inventaire des organismes publics, nous avons aussi recensé les cabinets privés d'ingénierie-conseil, lesquels sont maintes fois cités par les chercheurs eux-mêmes dans les travaux et collaborations menés sur ces problématiques. Il est vrai que les interventions des cabinets privés sont particulièrement prisées et reconnues comme à l'origine d'innovations techniques et d'expertise précieuse au profit des collectivités locales. La vocation opérationnelle des contributions de ces cabinets d'ingénierie et les capacités de développement et d'application des recherches fondamentales par ces acteurs sont caractéristiques d'une démarche anglo-saxonne que les Canadiens avaient déjà soulignées.

Organisme	Laboratoire ou département	Personnes ressources
School of Civil Engineering and the Environment of Southampton	Transportation Research Group	Prof Mike Mac Donald Dr Jianping Wu Dr Besh Sultan
University College of London	Centre for Transport Studies	Lector Helena Titeridge
Oxford University Center for the Environment of Oxford	Transport Studies Unit	Prof John Preston
Faculty of the Built Environment of Bristol	Centre for Transport & Society	Prof Glenn Lyons Prof Phil Goodwin
University of Leeds	Institute for Transport Studies	Prof Anil Namdeo Prof Miles Tight

Chaque entretien a duré de deux à quatre heures, permettant une entrée en matière plus progressive sur les activités en générale du laboratoire ou département universitaire, de manière à situer les activités de modélisation proprement dite dans cet ensemble de travaux de recherche. Il apparaît avec évidence une faible collaboration franco-britannique sur ces domaines de compétences et de recherche, et donc un étonnement fréquent sur la démarche engagée, sur la finalité de l'étude et sur l'objet de la sollicitation. Cet étonnement n'avait pas été aussi vif dans le cadre des relations entreprises avec les Canadiens et les Allemands. D'où un temps important consacré avant le déroulement de la mission à ce que nous procédions à une explication précise et développée sur les tenants et aboutissants de cette étude.

Les réticences perceptibles avant la mission, voire dès notre arrivée sur place, ont été atténuées au fil des entretiens, du fait de la jeunesse de l'équipe des deux consultants français et d'un rappel sur le contenu de la mission. Non connue de ces laboratoires, l'association Economie & Humanisme, en tant que cabinet d'études, devait être explicitement présentée et située dans le cadre cette mission. La présentation de la collaboration du Laboratoire d'Economie des Transports (LET) dans cette étude avait pour fonction de bien inscrire la démarche dans une recherche publique nationale et d'un programme spécifique qu'est celui du PREDIT. Ensuite, les deux consultants non expérimentés et sans être auteurs d'une recherche antérieure similaire, devaient montrer leur capacité à mener un entretien portant sur des points très techniques.

D'une manière générale, les interlocuteurs rencontrés entamaient les séances par une présentation assez formelle des laboratoires dont ils assurent la direction. L'orientation des entretiens vers la description plus précise des objectifs attendus de la mission et des travaux, avec mention des intitulés, des dates et des noms éventuellement des outils (modèles ou logiciels), portait les chercheurs à prendre appui sur des réalisations en cours et à peu se situer sur un plan historique de leurs travaux. La déclinaison des collaborations avec les organisations publiques et privées s'avérait souvent longue et fastidieuse, au point que ce sont des listes pré-écrites qui nous étaient distribuées.

Les documents (plaquettes, brochures) sont monnaie courante au sein de ces institutions universitaires britanniques, l'habitude étant en effet de valoriser les travaux sous une présentation attractive et lisible pour une diffusion large. Les partenariats publics/privés, sinon les transferts de compétences en valorisation et commercialisation des produits de la recherche s'avèrent ici matérialisés et rendus visibles par ces documents.

Par contre, il est vrai que la présentation d'un état de la recherche à l'échelle nationale s'avère souvent infructueuse, comme Eric Baye l'a déjà observé au Japon.

Enfin, nous noterons une tendance forte à « baptiser » les modèles et logiciels développés, à l'aide de noms spécifiques, sous forme d'acronymes ou de désignations mnémotechniques. Les rapprochements observés fréquemment avec les sociétés privées d'étude, de conseil en ingénierie des transports, facilitent à la fois la diffusion et la commercialisation des produits de la recherche, et ainsi une démarche de protection intellectuelle. L'université de Leeds se distingue nettement des autres au travers la série des modèles désormais « populaires » et de forte renommée auprès des collectivités locales (SATURN, DRACULA, WEBCOMIS, TEMPS).

La monographie ici proposée comprendra les parties suivantes :

L'organisation territoriale britannique et la recherche sur les Transports et donc le contexte organisationnel de la recherche : les acteurs du système de production / utilisation de l'innovation relative à la modélisation transport environnement.(partie II)

Les spécificités de la recherche Transport / Environnement (partie III), comprenant une brève analyse comparée des spécificités de la recherche universitaire ainsi qu'une présentation des acteurs de l'ingénierie conseil dans le privé.

une analyse détaillée des travaux et organismes de recherche en modélisation des transports/environnement (partie IV), sous l'angle des approches de pluridisciplinarité, d'applications et de transferts de compétences observés

II. L'organisation territoriale britannique et la recherche sur les Transports

Pour clarifier le paysage dans la domaine en recherche Transport / Environnement, nous procéderons à un rapide repérage de l'organisation des institutions britanniques, que nous intégrerons dans un chapitre concernant la demande de « recherche Transport / Environnement ». Nous passerons ensuite en revue le système de production d'innovation dans le domaine de la modélisation des transports et de l'environnement. Nous avons procédé à un repérage des institutions publiques britanniques et les classons dans les acteurs de l'offre d'une production de modélisation, considérant qu'il s'agit d'un marché potentiel de développement et de diffusion de produits de la recherche.

1. Organisation administrative et territoriale

a) Autorités centrales

1. **Ministère des Transports**¹⁰⁸ (Department for Transport), commanditaire de travaux scientifiques et de recherches en matière de politiques des transports, de fret, de sécurité, de données statistiques. Une base de données des études et recherches¹⁰⁹ est disponible sur le site Internet de ce ministère. A noter toutefois que l'agence des Autoroutes (Highways Agency), agence d'exécution sous tutelle du ministère des transports, dispose d'un comité de recherche à l'origine de travaux et de données statistiques sur les flux et trafics, les impacts environnementaux etc.

2. **Ministère de l'Environnement**¹¹⁰ (DEFRA ; Department for Environment, Food and rural affairs), ministère qui traite des questions des affaires liées à la protection de l'environnement (air, sol, eau, déchets), au changement climatique, au développement durable, aux activités agro-alimentaires (pisciculture, élevages...), à la protection des espèces animales et végétales.

3. **Ministère du commerce et de l'industrie (DTI, Department of Trade & Industry)**, comprend un département Energie (Energy Group¹¹¹), lequel présente des bases de données et des travaux sur les aspects environnementaux. Un programme spécifique de recherche Energie et Environnement porte sur des analyses scientifiques et économiques et sur les politiques énergétiques. Lancé depuis 1990, ce programme a développé un modèle Energétique spécifique (DTI's Energy Model). Le DTI encourage la collaboration entre la science et l'industrie à travers des programmes tels que LINK, dans lesquels les pouvoirs publics et les laboratoires de recherche prennent en charge jusqu'à 50 % du financement des projets, les entreprises assumant le reste. Autres modes de transferts de technologies : les programmes TCS (Teaching Company Scheme), qui consistent à faire travailler de jeunes diplômés au sein d'une entreprise sur un projet donné. Il y en a plus de 900 en cours. Le programme Smart du DTI aide les PME à accéder aux nouvelles technologies et à concevoir et développer des produits et

¹⁰⁸ http://www.dft.gov.uk/stellent/groups/dft_science/documents/sectionhomepage/dft_science_page.hcsp

¹⁰⁹ <http://www.rmd.dft.gov.uk/>

¹¹⁰ <http://www.defra.gov.uk/>

¹¹¹ <http://www.dti.gov.uk/energy/>

des processus innovants. Des liens étroits se nouent entre la recherche et l'industrie par le biais des applications commerciales des découvertes scientifiques. Par exemple, des centres de recherche mettant au point des technologies innovantes, créent des sociétés dites spin-off, lesquelles drainent des investissements privés massifs et se présentent sur les marchés mondiaux (télécommunications, biotechnologies).

b) Les collectivités territoriales

L'organisation interne des services extérieurs de l'Etat diffère selon chaque ministère et il n'existe pas de représentation du gouvernement central à l'échelon local dans le cadre d'un « système préfectoral » assurant la coordination entre leurs différents services territoriaux. Cependant, les services extérieurs des ministères ne sont pas tous concentrés à Londres dans le quartier des administrations centrales (*Whitehall*), loin s'en faut. Les services de l'administration centrale sont répartis dans de nombreux bureaux locaux ou régionaux, en particulier en Ecosse ou au Pays de Galles, mais dont les limites territoriales varient considérablement d'un ministère à l'autre.

En Angleterre, l'organe d'Etat principalement concerné par les questions d'ordre général relatives aux administrations locales, est désormais le ministère du Premier Ministre Adjoint (Office of the Deputy Prime Minister), depuis la réorganisation du ministère de l'Environnement, des Transports et des Régions qui en avait précédemment la charge. Ce ministère qui supervise, en fait, l'action de l'ensemble des collectivités locales, constitue véritablement « *un organe de tutelle* ».

Il y a trois niveaux principaux de gouvernement au Royaume-Uni : l'Etat, les collectivités locales et un niveau intermédiaire, né du transfert de certains pouvoirs en Ecosse et au Pays de Galles. La loi sur le gouvernement de l'Irlande du Nord de 1998 a posé les fondations pour un transfert de pouvoirs en Irlande du Nord. Le Royaume-Uni comprend 6 types de collectivités locales. L'organisation diffère selon les zones géographiques. L'Angleterre comprend 36 Districts métropolitains (Metropolitan Districts Councils) en zone urbaine et Autorités Unitaires (Unitary authorities) en zone rurale pour ceux à un niveau, sinon 238 Districts (Rural Districts Councils) et 34 Comtés (County Council) pour ceux à deux niveaux. Par ailleurs et compte tenu de la taille très importante des collectivités locales, les structures de coopération sont très peu répandues. Il s'agit essentiellement d'autorités associées (*joint authorities*) assurant la gestion de certains services pour le compte de plusieurs collectivités. Ainsi en Angleterre, des autorités associées ont été mises en place dans les zones urbaines à un seul niveau d'administration locale pour la gestion des transports de voyageurs, des services « incendie et de secours », de la collecte et du traitement des déchets ménagers et de la police.

Généralement les collectivités, même certaines des plus grandes, n'ont pas de compétences pointues en modélisation en régie. Pour l'élaboration de modèle, elles font le plus souvent appel à des consultants spécialisés, voire aux universités (cas de Southampton, de Leeds). En revanche, il leur arrive de participer, quoique de manière modeste, au financement local d'expérimentations de résultats de recherche susceptibles de contenir un volet modélisation (introduction des NTIC et simulation du trafic).

2) L'environnement dans la politique britannique et dans l'éducation

Depuis la découverte du trou dans la couche d'ozone par des scientifiques du British Antarctic Survey (BAS), les pouvoirs publics prennent au sérieux la menace du réchauffement planétaire. En ratifiant le protocole de Kyoto en 1997, la Grande-Bretagne s'est engagée à réduire ses émissions de six gaz à effet de serre, notamment le dioxyde de carbone (CO₂). À l'horizon 2010, elle entend abaisser de 20 % les niveaux de CO₂ de 1990, et de 12,5 % les niveaux des autres gaz à effet de serre. Ces chiffres dépassent de loin les objectifs fixés par le protocole.

La Grande-Bretagne est signataire d'autres conventions internationales : la convention Ramsar, destinée à protéger les zones humides, et la convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore menacées d'extinction (CITES). Lors du sommet de la Terre, en 1992, le gouvernement a lancé l'initiative Darwin, qui incite les experts à s'intéresser aux besoins des pays en développement en matière de biodiversité.

La maîtrise de l'énergie est une priorité du gouvernement. En avril 2001, il a assujéti les fournisseurs d'énergie à une nouvelle taxe, au titre du changement climatique, afin d'encourager les économies d'énergie dans l'industrie. La recette doit servir à financer des mesures écologiques, comme le développement des énergies renouvelables. L'objectif est de couvrir 5 % des besoins nationaux en électricité d'ici à la fin 2003, et 10 % à l'horizon 2010.

Il existe un cadre global pour la protection de l'environnement : le Plan d'action pour la biodiversité. Il comprend des mesures de protection du milieu rural et des réserves naturelles, et englobe les travaux de conservation, de réhabilitation et de réintroduction de plantes menés par de grandes institutions, telles que les Jardins botaniques royaux de Kew et le Jardin botanique royal d'Édimbourg. Les parcs nationaux (sept en Angleterre, trois au pays de Galles et deux en Écosse) bénéficient d'une protection particulière, comme les sites naturels exceptionnels et les sites nationaux pittoresques.

Il est clair que la politique environnementale est essentiellement axée sur la préservation de la biodiversité et des espaces naturels. La problématique des transports en tant que vecteurs d'impacts sur l'environnement n'est pas à proprement parler soulevée dans les priorités ministérielles. C'est plutôt du côté de la gestion des ressources énergétiques que la problématique transport est abordée et au travers la lutte contre le changement climatique.

La loi sur l'éducation de 1986 indique que les établissements scolaires doivent utiliser une démarche équilibrée pour traiter des questions controversées, comme c'est le cas de l'éducation environnementale. Les questions relatives à l'environnement doivent être présentées le plus objectivement possible en prenant en compte les différentes manières de les entendre et de les comprendre.

En 1988, la loi sur la réforme de l'enseignement (Education Reform Act) organise un programme d'enseignement obligatoire, le National curriculum. À chaque matière figurant dans le programme correspond un ensemble d'objectifs d'acquisition des connaissances et d'aptitudes, des programmes d'études et des systèmes d'évaluation. Il permet d'aborder les questions environnementales au sein de plusieurs disciplines obligatoires. Les méthodes pédagogiques sont laissées au libre choix des enseignants. Concernant l'éducation à l'environnement, le National curriculum précise qu'il faut “

donner aux élèves l'occasion d'acquérir les connaissances, les valeurs, les attitudes, l'engagement et les aptitudes nécessaires pour protéger et améliorer l'environnement ... [et] ... encourager les élèves à observer et à interpréter l'environnement sous divers points de vue : physique, géographique, biologique, sociologique, économique, politique, technologique, historique, esthétique, éthique et spirituel, et éveiller la conscience et la curiosité des élèves pour l'environnement et encourager leur contribution active à la résolution de problèmes environnementaux”.

Les écoles bénéficient d'une grande liberté pour traiter des questions relatives à l'éducation environnementale, les intégrer dans les projets scolaires ou établir un quota horaire. Par ailleurs, les établissements scolaires ont la possibilité de participer aux différentes initiatives nationales en éducation environnementale, qu'il s'agisse d'institutions, d'entreprises, d'associations ou d'ONG. La collaboration avec les entreprises est importante au Royaume-Uni et s'effectue à différents niveaux : favoriser la prise de conscience des populations, élaborer du matériel didactique, mettre à disposition des installations, des outils, etc. La formation initiale des enseignants (Initial Teacher Training) à l'éducation environnementale est en principe incluse dans les disciplines. Au Royaume-Uni, si la décentralisation et l'organisation des différentes nationalités sont à l'origine de situations diverses, il se trouve qu'en Angleterre, l'éducation à l'environnement est intégrée dans les différentes matières du programme. Le Conseil national des programmes d'études (NCC) s'est limité à reformuler les objectifs concernant la mise en pratique de l'éducation environnementale dans les différentes disciplines. La formation continue mise en place par l'INSET (In Service Training) propose des cours de perfectionnement dans les différentes matières, certaines comme la géographie étant particulièrement ouvertes aux questions environnementales.

3) Système et recherche universitaire britannique

Le [système universitaire britannique](#) est très différent du système français et se trouve être fortement influencé¹¹² par les évolutions politiques et sociales du pays. L'« Education Reform Act » promulgué en 1988 met fin aux « University Grants Committee », les comités gérant les subventions des universités. Ces comités, dotés d'une certaine autonomie déplaisant à l'Etat, furent remplacés par les « University Funding Council » («Conseils des finances » sous contrôle des autorités locales), puis ce système de financement étant jugé trop complexe sera modifié en 1992, dans un souci d'uniformisation, particulièrement entre « vieilles » et « nouvelles » universités. Le système de financement est alors unifié et redivisé en trois conseils dont les prérogatives répondent à un découpage géographique (un conseil pour l'Ecosse, un pour l'Angleterre et un dernier pour le Pays-de-Galles). En fait, ce système qui se veut unifié, n'a pas empêché que subsiste, aux yeux de l'opinion publique, une différence entre nouvelles universités et vieilles institutions. Cette différence tient peut-être aux enseignements qui y ont été et y sont encore aujourd'hui dispensés. Les vieilles universités, datant du XV-XVIème siècle sont réputées pour leurs enseignements en Lettres, Arts et Sciences Humaines et Sociales, au contraire des

¹¹²Auteur(s) :Frédérique [Loew-Turbout](#), Collaboration Transmanche, ESO UMR 6590 CNRS, Université de Caen Jean-Louis [Shurmer-Smith](#), Department of Geography, University of Portsmouth, juillet 2003.

Polytechnics qui se sont tournées vers une demande croissante en sciences appliquées et en nouvelles technologies. On distingue en fait six grands types d'universités au Royaume-Uni :

Les vieilles universités	Oxford, Cambridge, St Andrews, Glasgow, Aberdeen, Edinburgh	Plus de 500 ans d'âge
Les vieilles universités « Redbrick » (Older civic universities)	11 au total : London Federal University, Leeds, Manchester, Birmingham, Sheffield, Newcastle, Wales Federal University...	Développées au XIXème siècle, à la révolution industrielle
Les nouvelles universités « Redbrick » (Newer civic universities)	7 Collèges de l'Université de Londres situés en province deviennent indépendants Nottingham, Leicester, Southampton, Reading, Exeter, Hull...	Développés dans les années 1950
« New Green Field »	8 nouvelles institutions créées ex-nihilo York, East Anglia, Kent, Essex, Sussex, Lancaster, Warwick, Stirling	Développées au début des années 1960
« New Universities » (Upgraded colleges of advanced technology)	10 collèges reçoivent le statut d'universités : Aston, Bath, Bradford, Salford, Strathclyde...	1966-1967
« Post 1992 » « New Universities »	30 anciens polytechnics (datant de 1966), 2 anciens collèges d'éducation supérieur, 6 anciennes « Central Institutions » écossaises deviennent des universités Portsmouth, Sheffield, Oxford, Brookes, Sunderland, De Monfort...	1992

Peu à peu, ces nouvelles « Polytechnics Universities » ont acquis une certaine autonomie et se sont développées particulièrement dans les domaines des arts et des sciences humaines et sociales. Il subsiste pourtant des différences entre les deux types d'universités anglaises qui tient en grande partie à l'image que s'en fait le grand public.

Sur le plan du financement, les universités sont soumises aux aléas de la conjoncture économique nationale et aux orientations du gouvernement en matière de dépenses publiques. Les difficultés que rencontrent les universités les obligent à trouver de nouveaux modes de financement, en développant des activités commerciales de type consulting ou en se spécialisant dans de nouveaux services à destination du secteur privé, financeur essentiel des universités britanniques.

Alors que les années 1960 ouvraient la voie à un système universitaire plus égalitaire, aujourd'hui le système est avant tout orienté vers une recherche permanente de rentabilité et d'efficacité dont dépend son financement. Dans un esprit de concurrence et de rentabilité, les universités sont ainsi évaluées et financées en fonction d'un certain nombre de critères tant en matière d'enseignement, que de recherche.

Les universités sont souvent organisées en établissements d'enseignement de troisième cycle (*graduate schools*), facultés et départements, au sein desquels on trouve les laboratoires de recherche. L'organisation la plus courante d'un laboratoire de recherche est la suivante :

- 1 Directeur (titre de professeur)
- 1 Professeur Associé
- Chercheurs associés (en nombre limité en général) : post doctorants et doctorants
- Etudiants : niveau master et postgraduate

Traditionnellement, les universités les plus prestigieuses, au moins dans les domaines scientifiques, sont celles de Oxford, Cambridge et Londres (Imperial College), lesquelles développent des travaux de recherche en modélisation des transports. Mais certaines ont investi plus spécifiquement sur les problématiques de transport et mobilité au point d'être reconnues à l'international, notamment les universités de Leeds (ITS), de Southampton (Transportation Research Group), de Bristol (Center for Transport and Society) et de Westminster (Transport Studies Group).

4) La recherche universitaire en matière de transport.

La recherche universitaire en matière de transport peut être déclinée en trois domaines que sont l'ingénierie civile, les sciences socio-économiques et politiques, enfin les sciences de l'environnement. Cette répartition n'est toutefois pas aussi nette et précise, puisque l'ingénierie civile intègre l'ingénierie environnementale¹¹³ (Southampton¹¹⁴), le transport, les infrastructures.

Pour mieux se convaincre d'une articulation entre ces trois domaines de compétences (transport, environnement, génie civil), voire de leur intégration, il suffit de se reporter à la composition des équipes de recherche et de la provenance des chercheurs. Les facteurs de différenciation entre les domaines de recherche tiennent plus à la taille des équipes (nombre de professeurs, d'assistants de recherche et de chercheurs) ainsi qu'à la répartition des budgets. La place occupée ici à Southampton par l'ingénierie civile « Infrastructure » est nettement supérieure en effectifs de personnels de recherche, mais se trouve être moins bénéficiaire en concessions allouées sur le budget annuel.

année 2003	Transport	Environnement	Infrastructure
Nombre de directeurs académiques	3	5	10
adjoints et assistants de recherche	16	5	12
Chercheurs étudiants	9	18	20
Montant des concessions de recherche en k£	3 126 £	1 100 £	2 556 £

¹¹³ Divisions de la recherche de la « School of Civil Engineering » de Southampton : Environnement (énergies durables, irrigation, contrôle des pollutions, ingénierie de l'eau et irrigations, gestion des déchets), Hydraulique, Infrastructure, Transport.

¹¹⁴ Faculty of Engineering, Science and Mathematics, faculté qui comprend la School of civil Engineering and the Environment; Ce département se dissocie en un Civil and environmental Engineering et un Centre for Environmental Sciences.

Le tableau suivant permet ainsi de mesurer la représentativité des établissements de l'enseignement supérieur et de la recherche à l'échelle du pays dans ce domaine de compétences.

Imperial College of London	Centre for Transport Studies, Departement of civil Environmental Engineering	Prof John Polack
University of Westminster, School of Architecture and the Built Environment	Transport Studies Group : London UK	Maria Adebawale, Julian Allen, Stephen Anderson...
University of Westminster	Transport Studies Group, London UK	T.S.Gadmin
University of Surrey, Environmental Flow research Centre	Surrey UK	A.Robbins,
Anglia Polytechnic University, department of Geography	Cambridge UK	M.Zickus, A.Greig
Transport Research Institute, TRI, Napier University	Edimbourg UK	John Currie
Cambridge Environmental Research Consultants Ltd, CERC	Cambridge UK	Kate Ellis, David Carruters, C.McHugh, K.Simms, A.Stidworthy, J.Stocker
University of Birmingham	Civil engineering research, CERT, Centre for Environmental Research Training	Chris Baker
Environmental Technology Centre, department of chemical engineering	UMIST	M.Bennett, R.F.Griffiths
Manchester Metropolitan University	Atmospheric Research and Information Centre, Manchester	B.Owen
University of the West England, Faculty of the Build environment	Bristol, Center of Transport and Society	Prof Glenn Lyons
Environment Agency London, NCRAOA	London UK	B.Fischer

La School of Geography and the Environment de l'**université d'Oxford** comprend une Unité d'études du Transport (Transport Studies Unit), laquelle permet des approches transversales entre sciences sociales et économiques et sciences de la nature. Les rapprochements et échanges entretenus avec le Département de Géographie et l'Institut du changement de l'environnement (changements globaux) à l'université de Oxford permettent de constituer des équipes pluridisciplinaires pour des projets de recherche. Aussi observe-t-on à travers cet exemple significatif une organisation favorable à la

mutualisation des moyens (ressources humaines et techniques) ainsi qu'à l'interdisciplinarité des approches et mobilisation des compétences.

Toutefois, il faut bien convenir des limites rencontrées au sein de ces institutions : les interfaces entretenues ne peuvent pas s'étendre à l'ensemble des maillons de la chaîne des impacts environnementaux relatifs aux transports routiers. C'est à ce niveau que se situent des spécificités des départements de recherche, puisque certains vont tabler sur des compétences générales et d'autres sur des spécialités.

III- Les spécificités de la recherche Transport / Environnement.

Nous devons aller plus en détail dans les spécificités britanniques rencontrées en matière de recherche Transport / Environnement. Au fil des échanges et des lectures à propos des travaux de recherche, des problématiques et des approches observées par les instituts et laboratoires de recherche en Angleterre, nous avons tenté de faire ressortir ici des traits distinctifs. Nous retiendrons ici trois principales spécificités à savoir celle de l'analyse socio-économique de la demande, l'instrumentation embarquée des véhicules et la modélisation des impacts (bruit, polluants de l'air). Enfin, nous nous arrêterons sur une caractéristique générale relative à l'approche pluridisciplinaire et transversale à laquelle se prêtent aisément les chercheurs. La constitution d'équipes de recherche mutualisant des compétences et connaissances issues de plusieurs disciplines tend à favoriser des croisements et une polyvalence avérée dont la modélisation serait le lieu de convergence.

1) Brève analyse comparée des spécificités de la recherche universitaire

L'analyse de la demande de transport sous l'angle socio-économique sera par exemple développée par le **TSU d'Oxford** (Transport Unit Studies), ainsi que les approches relatives aux politiques de transports (à l'échelle de collectivités ou à l'échelon national), ou encore les services auprès des populations à mobilité réduite, la perception du public quant aux services urbains, ou enfin l'employabilité dans le secteur du transport. De son côté, **l'université de Leeds**, au sein de l'Institut des Etudes sur le Transport (Institute for Transport Studies), mobilise 5 groupes de recherche répartis par problématiques très différenciées :

- Sécurité et sûreté
- Modélisation des réseaux
- Trafic et statistiques
- Modélisation des comportements et des coûts
- Politique des transports et évaluation des politiques publiques

L'instrumentation des villes (instrumented cities) afin de collecter des données de trafic en temps réel, ou de capter les niveaux de bruit ou de polluants atmosphériques, devient un enjeu des recherches appliquées menées par ces établissements universitaires, de façon à constituer des bases

de données réelles (transmission en temps réel des informations), à les centraliser puis à alimenter des modèles de prévision ou de planification et régulation des déplacements urbains.

L'instrumentation de véhicules fait aussi son apparition, notamment au sein de l'université de Southampton et de l'université de Leeds. Pionnière en la matière, l'équipe de Mike McDonald à Southampton, a entrepris de doter un véhicule des équipements de mesure systématique des variations de régime d'un moteur et des émissions produits par la carburation.

Ainsi, les problèmes de consommation d'énergie, de régimes de fonctionnement des moteurs et d'émissions de polluants par les véhicules relèvent-ils généralement des établissements d'ingénierie, de sciences et des technologies. La modélisation porte en conséquence sur les modalités de fonctionnement du moteur (régime) mais aussi sur les comportements de usagers des véhicules, ceci en vue d'établir des corrélations entre comportements et émissions atmosphériques. De là l'intérêt pour les collectivités locales, notamment en terme de régulation des trafics par des aménagements, équipements de signalisation et de politiques de limitation des vitesses.

On voit ainsi se profiler une recherche s'émancipant des purs aspects techniques et technologiques (motorisation, aménagement, équipements) pour intégrer peu à peu des facteurs de comportements des usagers et apporter des expertises en faveur des politiques locales de déplacement.

Il en va de même en terme de mesure des nuisances relatives aux transports en milieu urbain, puisque les campagnes de mesure et les outils de modélisation développés s'inscrivent dans des politiques locales d'aménagement (constructions d'habitats, implantation d'activités) et de planification urbaine en fonction des impacts de bruit par exemple. Les simulations de trafic effectuées, sur la base de systèmes d'information géographique (SIG) fournis par les collectivités locales ou les sociétés de gestion des réseaux autoroutiers, offrent ainsi un outil en faveur de la planification et de la gestion des déplacements à l'échelle locale.

L'ingénierie environnementale se rattache historiquement à l'ingénierie civile comme l'observe Eric Baye au travers les travaux menés en Europe et hors Europe (Japon). Le qualificatif « environnemental » attribué à un département ou à une faculté renvoie plutôt aux secteurs de l'eau et de l'assainissement, aux déchets, à la pollution atmosphérique, à la consommation d'énergie, et à l'hydraulique, sans inclure nécessairement les impacts relatifs aux transports. Ces impacts sont compris dans l'ensemble des activités humaines sans réserver une approche spécifique au transport. Mais nous observons un rattachement progressif de la problématique environnementale à l'ensemble des départements et spécialités depuis quelques années :

A Oxford par exemple, la faculté de Géographie a été renommée Faculté de Géographie et Environnement dès 1996, suite au départ de Phil Goodwin¹¹⁵ pour la chaire de l'University College of London.

De son côté, John Preston, directeur du **Transport Studies Unit de l'université de Oxford**, est un ancien Lecteur (senior lecturer) de l'université de Leeds et vient d'être nommé dans l'équipe de Mike

¹¹⁵ aujourd'hui professeur au CTS (Centre for Transport & Society) de Bristol, spécialisé en politique des transports.

Mac Donald à Southampton. Ainsi, entre Leeds, Oxford et Southampton, Il est intéressant de noter les transferts de compétences par le biais de ces renouvellements de postes de direction.

La création du **Centre for Transport & Society (CTS) de l'Université de Bristol** (University of the West of England) en janvier 2004 marque un tournant dans la reconnaissance institutionnelle de cette ancienne Unité de recherche pour le Transport et la Société (Unit for Transport & Society), née en septembre 2002. De formation somme toute récente, ce centre montre une spécificité par son rattachement à la Faculté de l'aménagement environnemental (Faculty of the Built Environment). Sous la direction du jeune professeur Glenn Lyons, l'équipe dirigeante se compose de 8 chercheurs-enseignants et de 6 chercheurs étudiants. Aucun enseignement n'est spécifiquement axé sur les problématiques environnementales, au sens des impacts écologiques. Le terme d'environnement relève plutôt de la dimension architecturale des aménagements urbains et des systèmes de transport. Les travaux effectués portent prioritairement sur les questions de planification des transports en fonction de la demande, de politique publique des transport et de comportements de usagers. Toutefois, des modules, depuis la première jusqu'en dernière année de formation, sont réservés aux étudiants sur l'approche des problématiques environnementales : « management », « prise de décision, durabilité et société », « économie des ressources naturelles », en vue d'introduire des modules de « management des marchés du transport » et de « planification et modélisation du transport ». La faculté d'Ingénierie de **l'Imperial College of London** comprend un département de Civil and Environmental Engineering. Le terme d'environnement est à considérer ici aussi au sens large, à savoir incluant autant les infrastructures et les constructions, les ressources en eau, le contrôle et la gestion des déchets, les géotechniques (sols) et le transport. Le CTS (Centre for Transport Studies), a été constitué et installé au sein du département de génie civil et de l'environnement afin de fusionner deux entités jusque là disjointes, à savoir le [Centre for Transport Studies at Imperial College](#) et le [Centre for Transport Studies at UCL](#). La réunion de ces deux départements issus de deux collèges (Imperial college et University college)¹¹⁶ entre dans une stratégie de positionnement académique (classement) pour faire valoir une capacité d'expertise pluridisciplinaire de 30 années en matière de transport.

Le **Transport Studies Group de l'Université de Westminster**, constitué en 1971, n'affiche aucunement un domaine de recherche sur l'environnement, si ce n'est au travers des problématiques situées au carrefour des enjeux de consommation des énergies fossiles, des impacts sur les milieux et le changement climatique¹¹⁷. En fait, la problématique Environnement est appréhendée de manière indirecte, c'est-à-dire comme influant sur l'aménagement urbain, les politiques de transport, sur les usages des réseaux ou sur l'état de santé des populations. Les intitulés des axes de recherche sont explicites sur ce point (Air transport, Freight and logistics, Public transport, Road traffic and planning, Impact studies and evaluation, Mobility management, Management and use of transport information, Public attitudes and travel behaviour, Surveys and Market Research).

¹¹⁶ Formant l'University of London Centre for Transport Studies (ULCTS). Les activités d'enseignement de l'ULCTS sont organisées et mutualisées par une structure inter-collégiale, l'[Intercollegiate MSc Course in Transport](#).

¹¹⁷ Prof. Peter Jones, Professor of Transport Policy and Behavioural Analysis, Director of the Transport Studies Group

Le **Centre for Environmental Research & Training (CERT)**¹¹⁸ de l'**Université de Birmingham** regroupe plusieurs entités de recherche (Centres et School, Department). Ce centre, à vocation pluridisciplinaire, ne comprend aucun axe de recherche portant spécifiquement sur les transports, mais appréhende la problématique Environnement sous l'angle des impacts liés aux émissions de particules. Le principal vecteur étudié est l'eau, marquant la spécificité de cette université, ou plus généralement des fluides (vent, eau). Les travaux de modélisation portent en conséquence sur les transports de polluants en mobilisant des chercheurs des facultés de Chimie, du génie civil, de géographie, des sciences de la terre et de l'environnement (modèles de dispersion dans l'air, de mesure de la qualité de l'air etc.).

Le Centre for Transport Studies de l'University College of London¹¹⁹ comprend un groupe de recherche Transport Studies dont les intitulés sont moins étendus et moins développés que ceux du CTS de l'Imperial College. Nous observons des croisements sur certains axes, mais des spécificités propres au CTS de l'Imperial College of London¹²⁰, avec notamment la place faite au rail (railway), à l'aérien, au maritime (port), aux systèmes de navigation (geomatic, GPS, GIS).

CTS University Colloge of London	CTS de l'Imperial College of London
Public passenger transport modelling of demand provision of services under competition system analysis and design information systems for passengers and operators	Travel behaviour and transport modelling (e.g., survey design and data analysis, travel demand modelling using advanced statistical and econometric techniques, activity based modelling, microsimulation modelling of daily travel, analysis of traveller dynamics and learning).
Traffic in networks dynamic modelling of travel choices estimation of demand from traffic counts information technology in network management	Transport technology and telematics (e.g., the design and evaluation of telematics systems for information dissemination and pricing, innovative data collection methods, impacts of e-commerce on travel behaviour, technological innovations for the elderly and disabled).
Computer-assisted traffic engineering video image analysis road junction design and operation design of bus priority systems use of massive databases use of artificial intelligence techniques	Transport operations (e.g., modelling of traffic flow and control strategies, analysis of capacity and network reliability, microsimulation of traffic flow, network design and optimisation).
Interaction between land-use and transport modelling of location and travel choices	Transport and environment (e.g., analysis of air quality impacts of local traffic management measures, transport and health, travel demand management policies, urban design and energy use).
Transport economics Transport policy	Transport policy and regulation (e.g., utilities regulation, funding and financing of infrastructure, pricing and

¹¹⁸ Nous retiendrons parmi les chercheurs : Professeur Christophe Baker, Civil Engineering ; Dr Ji Ping Shi. et Dr Cai Xiaoming, Geography, Earth & environmental sciences.

¹¹⁹ comprend une équipe dirigeante de 13 professeurs/chercheurs (visiteurs inclus, soit 3)

¹²⁰ comprend une équipe de 35 professeurs / chercheurs (visiteurs inclus, soit 5)

	investment appraisal, urban economics, transport economics and policy)
	Railway operations and management (e.g., the analysis of risk in rail investment decisions, design and analysis of safety critical systems (e.g. signalling), comparative assessment of performance through benchmarking studies).
	Geomatics (e.g., design and testing of high performance navigation and positioning systems, geodesy and surveying, earth observation, applications of GIS and GPS in Civil Engineering).
	Port Operations and Management (e.g., benchmarking and operational efficiency, port technology and planning, logistics and supply chain applications in ports and shipping, intermodal operations and management, safety and security issues).
	Air transport operations and planning (e.g., analysis of air sector capacity, airport performance analysis, environmental impacts of aircraft and airport operations, relationships between landside and airside movements).
	Freight transport and logistics (e.g., analysis of UK container operations, decision making in the freight industry, analysis of long-term infrastructure needs, port operations and investment, regulation and competition in the freight industry).
Transport safety safety of public passenger transport statistical analysis of accident data identification of safety measures from accident data urban safety management exposure of pedestrians to accident risk	Safety (e.g., analysis of road infrastructure impacts on safety, vehicle systems, statistical analyses of safety data, emergency medical systems, safety policy, air, rail and public transport safety).

Les universités et leurs départements comprenant des équipes d'enseignants et de chercheurs en matière de planification des transports en UK sont légion (25 recensées). Il est opportun de faire apparaître la liste détaillée de ces établissements, afin de mesurer l'ampleur de cette culture britannique dans le domaine.

- [Cardiff University of Wales - Department of City and Regional Planning](#)
- [Cranfield University - Centre for Logistics and Transportation \(CCLT\)](#)
- [Heriot-Watt University \(Edinburgh\) Logistics Research Centre](#)
- [University of Huddersfield - Department of Transport and Logistics](#)
- [University of Leeds - Institute for Transport Studies \(ITS\)](#)
- [University of London - Centre for Transport Studies \(CTS\)](#)

- [Loughborough University - Transport Studies Group](#)
- [University of Manchester - Transport Research](#)
- [Middlesex University - Transport Management Research Centre](#)
- [Napier University - Transport Research Institute \(TRI\)](#)
- [NATS College of Engineering Training \(CET - air traffic engineers\)](#)
- [University of Newcastle upon Tyne - Transport Operations Research Group \(TORG\)](#)
- [University of North London - Transport Research and Consultancy \(TRaC\)](#)
- [Open University - Energy and Environment Research Unit \(EERU\)](#)
- [Oxford University - Transport Studies Unit \(TSU\)](#)
- [Oxford Brookes University - School of Planning](#)
- [Sheffield Hallam University](#)
- [University of Plymouth - Institute of Marine Studies](#)
- [University of Salford - Transport Engineering and Planning](#)
- [University of Sheffield - Advanced Railway Research Centre \(ARRC\)](#)
- [University of Southampton - Transportation Research Group \(TRG\)](#)
- [University of the West of England, Bristol - Centre for Transport & Society \(CTS\)](#)
- [University of Westminster - Transport Studies Group \(TSG\)](#)
- [University of York - Institute of Railway Studies \(IRS\)](#)

Dans le cadre des activités de valorisation de la recherche, l'Imperial College of London a créé en 1990 un cabinet indépendant (independent service), l'Imperial College Consultants (ICON)¹²¹. Cette structure de valorisation de la recherche propose des services de consultation, de conseil et d'expertise pour les industries, les activités de commerce et les agences gouvernementales. Contractant des négociations sous la bannière de l'Imperial College pour des prestations d'expertise en science, ingénierie et médecine. Cela ouvre un rapide chapitre sur les cabinets et sociétés privées repérées en Angleterre.

¹²¹ site WEB : <http://www.imperial-consultants.co.uk/page.php?id=1#ICON> website

2) L'ingénierie conseil dans le privé.

Les instituts de recherche privés et sociétés privées de professionnels des transports sont nombreux et sont explicitement à vocation commerciale. Nous y retrouvons les cabinets d'étude en ingénierie des transports (planification, aménagement et infrastructures, gestion et régulation de trafic, modélisation).

UK MetOffice, Bracknell	Bracknell, UK	J.Manning, A.L.Redington, D.B.Ryall	
ICI Eutech Engineering Solutions	Warrinton UK	M.Tasker	
Westlakes Scientific Consulting Ltd	Cumbria UK	R.A.Hill	
Envirobods Ltd	Stevenage, Herts	A.M.Spanton	
DERA Porton Down	Salisbury UK	I.H.Griffiths	
Riskaware Ltd	Bristol UK	M.Hargrave	
BRE Ltd	Graston, Watford, Herts	S.Walker	
Transport Research Laboratory, TRL, Ltd	Wokingham		Transit 12 (emission pollutants) STM et TPM (planning tools)

Le **TPS, Transport Planning Society** : cette organisation professionnelle rassemble pas moins de 25 sociétés privées et associations positionnées sur le marché du consulting en matière de transport. A la suite d'un séminaire de praticiens professionnels britanniques tenu en 1994, puis à la mise en place d'un forum de la planification des transports dès 1995, le rapprochement des professionnels s'est formalisé dès juillet 1997 par la création de la TPS. Destinée à assurer la représentation des praticiens privés de la planification des transports auprès des pouvoirs publics, il s'est agi aussi d'engager des démarches de concertation et de partages d'expertise entre acteurs publics, chercheurs et praticiens. Les 25 membres fondateurs de la TPS sont les principaux cabinets et sociétés de professionnels positionnés dans le domaine de la planification des transports.(tableau ci-dessous des membres fondateurs en octobre 1997).

Nous avons par ailleurs recensé les principales sociétés privées de conseil en matière de transport (planification, modélisation, logistique etc), au nombre de 25 parmi les plus réputées. Cette liste non exhaustive permet toutefois de considérer la place des grands groupes d'ingénierie (KPMG, BAA plc, Hague Consulting Group, WS Atkins) et les structures de taille moindre mais plus personnalisées (David Bayliss OBE, Colin Buchanan & Partners etc).

1	WS Atkins	14	Hague Consulting Group
2	The Automobile Association	15	Halcrow Fox Associates
3	BAA plc	16	KPMG
4	David Bayliss OBE	17	Institute of Highway Incorporated Engineers
5	Peter Brett Associates	18	Landor Publishing
6	Colin Buchanan & Partners	19	London Transport
7	Peter Davidson Consultancy	20	Marcial Echenique & Partners Ltd
8	Denton Hall Planning Group	21	Mouchel Consulting Ltd
9	Peter Evans Partnership	22	Oscar Faber
10	Gibb Ltd	23	Ove Arup & Partners
11	Ove Arup & Partners	24	PTRC Education and Research Services Ltd
12	Scott Wilson Kirkpatrick & Co Ltd	25	Transport Advisory Service
13	WSP Graham Ltd		

IV. Recherches en modélisation des transports/environnement : pluridisciplinarité, applications et transferts

Avant d'entrer dans les domaines de compétences de la recherche britannique en matière de transport / environnement, il faut d'emblée signaler une difficulté à lire l'organisation institutionnelle. Des difficultés ont été rencontrées en terme d'identification claire de la structuration des laboratoires, départements et groupes de recherche au sein des cinq institutions consultées. Sans vouloir avancer qu'une complexité soit plus caractéristique du Royaume-Uni qu'ailleurs, il a fallu procéder à des discernements dans l'appartenance ou le rattachement de quelques chercheurs. Les implantations éclatées (surtout sur Londres et Leeds) des laboratoires, instituts et départements, sinon la mutualisation de locaux (Bartlett School dans le même bâtiment que le Center for Transport Studies) ont quelque peu perturbé la représentation des appartenances. Ceci vaut d'autant plus sur les campus universitaires où les populations d'étudiants, d'enseignants et de chercheurs se croisent et cohabitent. Mais il faut convenir que des collaborations étroites sont favorisées entre départements distincts par les proximités géographiques et au-delà des secteurs disciplinaires. La responsable du CTS évoque même une collaboration en réseau avec les départements de géographie, d'ingénierie mécanique, de physique et de chimie, avec la Bartlett School pour des travaux portant sur la

problématique transport. De même pour le Transport Studies Unit de l'université de Oxford, la proximité des locaux sur le campus incite sinon facilite ces collaborations sur des problématiques convergentes.

1) Compétences multiples et approches transversales

Le laboratoire du professeur MacDonald à l'université de Southampton présente une équipe hétérogène et de nature pluridisciplinaire. Regroupant à la fois des ingénieurs, des mathématiciens et des spécialistes en sciences humaines et sociales¹²², le Transportation Research Group développe des recherches élargies puisque allant de la modélisation de l'accessibilité des axes routiers (monitoring d'accès) à la modélisation microscopique des flux de trafics sur les réseaux en passant par la modélisation des régimes de consommation des moteurs et des comportements des usagers de la route. Cette ouverture assure une certaine visibilité au groupe de recherche non seulement auprès des institutions publiques, mais aussi auprès des sociétés privées d'exploitation des autoroutes, des constructeurs d'automobiles et des collectivités locales. Cette ouverture se déploie à l'international par une omniprésence sur des projets européens (Eu-RAMP) et auprès de partenaires américains, chinois...L'approche pluridisciplinaire est favorisée par le regroupement des compétences scientifiques au sein d'une même école, comprenant ainsi autant de chercheurs spécialisés en infrastructures, qu'en environnement et en transport. Le groupe de recherche Transport constitue un espace de regroupement de ces compétences réparties dans les différents départements de l'université et de mobilisation des chercheurs sur des projets. Le volet Environnement est tout particulièrement porté par un professeur de biologie, le professeur Tanton.

La même réflexion peut être portée à l'égard du Center for Transport Studies de l'University College of London, lequel offre une approche transversale de la problématique des transports par la mise à contribution de compétences issues de plusieurs disciplines. Aussi trouve-t-on plus largement encore des chercheurs issus des sciences humaines et sociales (économistes, urbanistes, géographes, psychologues et ergonomes) et des mathématiciens ou informaticiens. A la différence du Transportation Research Group de l'Ecole du Génie Civil et de l'Environnement de Southampton, aucun ingénieur du génie civil ou encore d'écologue ne se trouve dans les équipes de recherche à Londres. Ceci surprend du fait que le CTS fait partie du département du génie civil et de l'environnement¹²³ de l'University College of London. Reste que Helena Titheridge est elle-même ingénieur en technologie et en planification urbaine et que le professeur Markett est urbaniste. Par contre, sur les 20 chercheurs composant l'équipe du CTS de Londres, la moitié est spécialisée en modélisation, compétence s'ajoutant aux formations d'origine.

Le Transport Studies Unit d'Oxford¹²⁴ existe depuis trente années, mais demeure une structure relativement réduite par rapport aux autres instituts repérés et consultés. En effet, composé de 4

¹²² mathématiciens et statisticiens (40%), 33% d'ingénieurs et 27% sciences humaines et sociales

¹²³ [Department of Civil and Environmental Engineering](#).

¹²⁴ L'Unité d'Etudes du Transport (TSU) fait partie du Centre d'études pour l'Environnement de l'Université d'Oxford ([Oxford University Centre for the Environment](#) (OUCE)). Des relations étroites sont entretenues avec la [School of Geography](#) et avec l'Institut des changements de l'environnement ([Environmental Change Institute](#), ECI).

chercheurs et de 6 étudiants-chercheurs (PhD), dirigé par le professeur John Preston, et aborde la problématique Transport au regard des enjeux globaux et sous un angle interdisciplinaire. L'analyse des politiques publiques en matière de déplacement et de transport ont toutefois placé ce centre d'études à un rang de renommée internationale. Véritable interface de recherche avec les départements de l'université d'Oxford, les travaux intègrent ainsi les trois dimensions du développement durable, à savoir les aspects sociaux, économiques et environnementaux, au travers le filtre des politiques publiques. Les axes de recherche sont divisés en quatre termes désignant chacun une des dimensions du développement durable. Le directeur, John Preston, économiste et géographe de formation, porte un intérêt tant sur les aspects humains que physiques depuis les vingt dernières années. La place de la problématique des transports s'est accentuée notamment par les impacts environnementaux produits. En effet, les changements globaux tel que le risque de changement climatique lié aux émissions de gaz à effet de serre sont devenus incontournables. La modélisation constitue un outil facilitant la prise en compte des changements globaux, la mesure ou l'estimation des changements produits par les activités humaines et en particulier les systèmes de transport. Cependant, la modélisation ne peut servir à opérer des changements, car pour freiner la tendance actuelle, il s'agit d'aller au-delà des données et d'intégrer la dimension humaine. L'approche environnementale adoptée par le Transport Studies Unit d'Oxford consiste à analyser le développement de politiques publiques visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre. D'où des études des modes de transport utilisés par les ménages (voiture, transports collectifs routiers, train, avion) et le développement de profils d'émission de CO² intégrés qui évaluent les quantités émises en fonction des modes de transport. Il n'y a pas de campagnes de mesures des émissions, à l'inverse des travaux des instituts et laboratoires de l'ingénierie civile et de l'environnement (Southampton, Londres), mais des enquêtes « population ». La recherche HATS par exemple, désormais achevée, a permis de constituer cette première base de données solide et utile pour servir les futures travaux de modélisation (projet de recherche TEST). Dans le cadre de HATS, des échantillonnages aléatoires ont été réalisés auprès de groupes de populations, pour initier des enquêtes « origine-destination » des ménages, comportant des informations sur les durées, objet des déplacements, durées et fréquences, coûts des trajets effectués. Sous formes d'enquêtes téléphoniques et par voie de courriers, déléguées à une association allemande (SUSTRANS) et un cabinet d'études basé à Munich), il s'agissait de collecter des données pour constituer une base centralisée. Les entretiens réalisés sont très précis et détaillés sur ces habitudes et comportements de déplacements. La représentativité de ces enquêtes est fixée de manière à atteindre une échelle de 1% de la population résidente sur les agglomérations ciblées, avec en moyenne une population de 100 000 habitants. L'intérêt de la constitution de cette base de données tient à la couverture européenne obtenue par la centralisation des données à la charge de l'association SUSTRANS. Cette association donne libre-accès à ses données, autant aux universités qu'aux collectivités locales et aux différents états, afin d'encourager les individus à effectuer de meilleurs choix de modes de déplacement. Le ministère soutient largement ces initiatives du laboratoire pour constituer cette base de données publiques pour affiner les observations sur les comportements des usagers des transports en Angleterre. Au travers cette étude, l'équipe de chercheurs analyse les déplacements par

rapport à la consommation d'énergie par les ménages, ce qui fournit une simulation des activités de déplacement et des modes de déplacements des ménages sans que cela relève réellement d'une modélisation. Les travaux spécifiquement de modélisation relèvent essentiellement des réseaux de transport, notamment ceux en forte concurrence au Royaume-Uni, à savoir ceux des cars et des trains.

2) L'environnement

La dimension Environnement prend une importance croissante dans les travaux des universités britanniques. Les mesures prises par le gouvernement en place pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre et dans la lutte contre le changement climatique, avec un objectif de baisse des émissions de 60% d'ici 2020-2050, tendent à mobiliser des recherches dans ce sens. Par exemple, sur Oxford, l'université a ouvert le New Energy Center, lequel reçoit des financements conséquents pour le développement des énergies renouvelables, pour la conception de constructions à moindre consommation.

A l'ITS de Leeds, la problématique Environnement est intégrée systématiquement dans la problématique Transport, si ce n'est qu'aucun modèle spécifiquement environnemental n'est conçu et développé à ce titre. Dans les formations dispensées au sein de l'ITS, le module Environnement est intégré dans les modules de planification des transports, avec en outre la création d'un Master en Sciences (MSc) intitulé « Planification des transports et environnement ». Les relations établies avec les départements de l'université de Leeds, en géographie, en génie civil, en management et en environnement permettent aux étudiants des différents niveaux (équivalent DEUG : common undergraduates, et équivalents Master, post-graduate courses) de bénéficier des cours et des enseignants de l'ITS.

3) Modélisation des impacts sur l'environnement, des flux, de la demande de transport

Les travaux de modélisation présentés par les laboratoires publics consultés portent sur trois domaines principaux d'interactions entre Transport et Environnement.

En premier lieu, nous pouvons classer les travaux de modélisation des niveaux d'émissions de polluants et nuisances relatifs aux flux de véhicules en milieux urbains (bruit, gaz à effet de serre, polluants de l'air), après collecte et traitement des données par des collectivités locales (ville de Southampton, ville de Winchester etc), soit par des campagnes de mesure des émissions sur des véhicules équipés. La modélisation constitue un objet de recherche à part entière pour ces laboratoires.

Le second domaine de modélisation est celui intégré dans un domaine de recherche plus large et plus général, où la modélisation constitue une étape, voire une infime partie du travail de recherche : le modèle est un outil au service de la gestion des services de réseaux de transport public, de la gestion et du contrôle des trafics et des itinéraires des véhicules.

Le troisième domaine de modélisation est celui lié à l'évaluation de la demande de transport et des aspects socio-économiques : quelles sont les motivations pour adopter le véhicule individuel ou les transports publics et quels sont les facteurs d'incitation / dissuasion de l'usage des transports collectifs ? Les impacts sur l'environnement apparaissent en fait ici comme une résultante de comportements collectifs et ne sont considérés qu'accessoirement dans la modélisation.

Nous allons tenter ici d'explicitier chacun de ces trois domaines d'investigation de la recherche en suivant cette répartition en trois domaines de spécificités.

- a) **La modélisation des comportements de conduite**, laquelle peut notamment comporter un exercice de simulation des flux et usages des réseaux, trouve ses principaux chercheurs au sein de l'université de Southampton et de Leeds.
 - a. Le modèle FLOWSIM (Southampton, commercialisé suite à conception et développement par l'institut) ainsi que d'autres modèles en tant que systèmes de gestion de bases de données (logiciels et algorithmes) sont disponibles et contribuent aux évaluations des études d'impacts sur l'environnement urbain. A Southampton, Le laboratoire du professeur MacDonald recourt actuellement à des modèles de simulation microscopique du comportement du conducteur en situation de conduite, avec interaction entre 2 véhicules ou plus sur une seule voie.
 - b. Les systèmes ITS (Intelligence Transport Systems) permet une simulation microscopique instantanée au niveau des véhicules. Il s'agit aussi d'un modèle de simulation de flux de marchandises. Ce système sert pour la simulation des comportements de conduite d'un véhicule motorisé, permettent de mesurer à l'aide d'un véhicule instrumentalisé (appareils de mesure à bord et collecte des données en temps réels) l'ensemble des émissions de polluants atmosphériques selon les régimes du moteur. La modélisation porte sur les variations des émissions du véhicule en fonction des comportements des conducteurs et du mode de fonctionnement du moteur (régime, accélération et décélération), non en fonction des milieux récepteurs. La modélisation des émissions permet d'analyser les modifications à apporter à la structure et au fonctionnement du moteur (engin mapping du moteur). Dans le même cadre des recherches en modélisation, l'analyse des comportements s'effectue par simulation de situations de flux de véhicules et d'implantation d'équipements de gestion des flux (signalisation, aménagements). Sur la base d'un SIG, les chercheurs procèdent à la simulation de trafics avec une représentation de tous les types d'infrastructures existants (lignes droites, carrefours...). Les modèles issus du système ITS servent à l'analyse des comportements de conduite selon les paramètres que sont les temps de retard accumulés, les durées de trajet, les aménagements. La limite de ces travaux tient aux capacités informatiques de traitement des données, d'où un projet de mise en parallèle et en réseau des ordinateurs connectés. La modélisation des trafics de

véhicules sur route est de type macroscopique et microscopique, la seconde portant exclusivement sur les données collectées par l'engin (véhicule instrumentalisé) en situation de trafic.

- c. Le système SATURN¹²⁵ de l'ITS est un modèle de simulation et de distribution des trafics tous modes. Il permet de simuler de trajets entre des points de départ et des points d'arrivée (matrice OD) en vue d'une optimisation des déplacements.
- d. Le modèle DRACULA développé par l'ITS de Leeds intègre bien les aspects environnementaux relatifs aux trafics routiers. Il utilise les résultats du modèle de gestion de trafic SATURN. Les autres modèles développés traitent des aspects de l'environnement sous l'angle des nuisances et impacts que sont le bruit, la qualité de l'air et les émissions de gaz à effet de serre.
- e. Le modèle TEMMS, conçu et développé par Anil Namdeo de l'ITS de Leeds est un modèle d'émission et de cartographie des trafics, incluant les aspects « qualité de l'air, bruit et effets sur la santé ». Fonctionnant sur la base d'un SIG, ce modèle met en relation l'état d'occupation des réseaux de circulation, les émissions générées (par simulation) par les véhicules (polluants de l'air et bruit) et les effets possibles sur la santé des populations. En fonction d'une politique des transport à l'échelle d'un territoire, le modèle TEMMS offre l'avantage de simuler l'état du trafic, la qualité de l'air qui en résulterait, de déduire les impacts en termes d'émission sonores et donc de risques pour la santé des personnes. Utilisé pour tester et simuler l'impact de politiques de transport à Leeds et Leicester, il a permis de décliner des scénarios de prospective pour 2015 par exemple, à partir d'hypothèses réalistes (effet d'implantation d'un péage routier à l'entrée de la ville de Leeds). Sur Leicester, les scénarios comportait des hypothèses de réduction de vitesse de 20% sur l'ensemble des routes, d'interdiction de circulation des poids lourds et du recours à des carburants dits « propres ». Ces scénarios ont pu être inscrits dans le projet européen HEAVEN¹²⁶, programme dont l'objet est de développer et d'exploiter des systèmes opérationnels de gestion de la pollution atmosphérique et du bruit, via des techniques d'acquisition et de traitement des données en temps réel.
- f. Le logiciel gaussien ADMS (Atmospheric Dispersion Modelling System), développé par le CERC (Cambridge Environmental Research Consultants, www.cerc.co.uk), est considéré comme un outil de référence au même titre que sa version Impact-Urbain appelée ADMS Urban.

¹²⁵ SATURN (Simulation & Assignment of Traffic to Urban Road Networks). C'est un modèle de simulation et de distribution des trafics tous modes. Il permet de simuler de trajets entre des points de départ et des points d'arrivée (matrice OD) en vue d'une optimisation des déplacements.

¹²⁶ HEAVEN : *Healthier Environment through the Abatement of Vehicle Emissions and Noise*; six villes européennes sont concernées : Berlin, Leicester, Paris, Prague, Rome and Rotterdam; 5^e Programme de Recherche et Développement (5ePCRD), 2000-2003 ; HEAVEN website: <http://heaven.rec.org>

b) La modélisation des flux, des réseaux et autres usages des infrastructures routières (itinéraires) trouve notamment sa place au sein du CTS de Londres. Ainsi l'ensemble des chercheurs du Center for Transport Studies de l'University College of London sont formés à l'élaboration de modèles mais dans des domaines très différents et en fonction de leur formation initiale. La modélisation des sols reviendra par exemple au géographe formé au traitement des données et à la production d'algorithmes. Sur les vingt chercheurs que compte le CTS de Londres, il faut rappeler que la moitié est chargée de la modélisation, ce qui dote ce laboratoire d'une forte compétence dans ce domaine. La palette des domaines couverts par la modélisation est très large au sein du CTS de Londres, puisque les problématiques de gestion et d'aménagement des sols, de l'accessibilité dans l'espace, de la gestion des flux dans les réseaux, de la sécurité des infrastructures ou encore de la prévision des émissions de polluants dans l'atmosphère par les véhicules y sont traitées¹²⁷.

Dans l'équipe du CTS, la répartition des activités s'équilibre en temps entre les opérations de collecte des données (prises de mesure, comptage) et celles propres à la modélisation. Cependant, la modélisation n'est pas l'objet même de la recherche conduite, mais seulement une activité contribuant à la recherche. Pour reprendre les propos d'Helena Titheridge, « la modélisation n'est qu'une infime partie du travail de recherche et se réfère souvent à une question très particulière dans un cadre de recherche plus vaste ».

- Le CTS de l'UCL (University College of London) a participé à l'élaboration du modèle ESTEEM (1997-2001)¹²⁸, modèle utilisé en dehors de l'université dont plusieurs versions ont été développées pour intégrer des changements survenus au fil du programme. ESTEEM (European Scenarios on Transport-Energy-Environment for Metropolitan Areas)¹²⁹ permet une estimation de la réaction de ménages et d'activités en fonction de l'accessibilité d'un espace urbain.
- Les travaux sur le modèle BAPTIST ne comprennent pas de volet « environnement »¹³⁰ d'une part et s'intègrent dans un programme plus large, l'AUNTSUE¹³¹.

Parmi les modèles de référence sur l'intégration Transport/Environnement, nous trouvons :

- le modèle TRANSIMS (Transportation Analysis and Simulation System ; voir http://transims.tsasa.lanl.gov/PDF_Files/Travel9.PD; Dr LaRon L.Smith, *Los Alamos National*

¹²⁷ Des spécialistes sont toutefois mentionnés pour chacun de ces domaines : le professeur John Polack, directeur du CTS, mathématicien, le professeur Roger Mackett pour l'accessibilité de l'espace ou pour les phénomènes de dépendance à l'automobile; le professeur Benjamin Heydecker pour la gestion des flux dans les réseaux ; Helena Titheridge en modélisation des consommations d'énergie et en prédiction des émissions atmosphériques.

¹²⁸ logiciel intégré Occupation de l'espace/Transport, dans le cadre de l'étude ESTEEM financée par la DGXII, programme JOULE-THERMIE ;

¹²⁹ Projet ESTEEM : mise au point d'un outil d'aide à la gestion des métropoles européennes pour une évaluation de l'impact de politiques d'occupation du sol et de transport sur la mobilité et sur l'environnement. Intégration de modèles macro-économiques de simulation à long terme, des modèles intégrés intermodaux d'interaction occupation du sol- transport à moyen terme avec simulation d'émission de polluants, et des modèles de diffusion d'émissions polluantes à court terme. Les modèles sont validés par 4 applications à des villes différentes (Rome, Lyon, Londres, Bruxelles). Partenaires : le bureau d'étude ISIS et la Communauté Urbaine de Rome (Italie) ; le CERTU et la Communauté Urbaine de Lyon (France) ; bureau d'étude OVE-ARUP et le Borough de Kensington and Chelsea (Londres, UK) ; le bureau d'étude STRATEC et la Région de Bruxelles-Capitale.

¹³⁰ Méthodologie d'évaluation des mesures adoptées pour l'accessibilité et l'inclusion / exclusion sociales à partir des données d'itinéraires.

¹³¹ AUNTSUE : Accessibility and User Needs in Transport for a Sustainable Urban

*Laboratory*¹³²) est cité par le professeur John Preston, ainsi que le modèle TREMOVE¹³³ (USA). Le cœur de ce modèle est un système de simulation par anticipation rationnelle des agents (économiques) qui va permettre de simuler les mouvements seconde par seconde (simultanée) de chaque personne et véhicule sur le réseau de transport d'une aire métropolitaine (estimation de trafic). Puis un module permet d'estimer les émissions de polluants, les accidents.¹³⁴

- le modèle SATURN reste très populaire au Royaume-Uni, selon Anil Namdeo de l'ITS de Leeds, utilisé notamment par la plupart des collectivités locales (Manchester, Birmingham, Leeds...) et dans plus de 80 pays. Ce modèle de simulation et de distribution des trafics, pour tous modes de transport, permet de simuler des trajets entre des points de départ et d'arrivée (matrice Origine-Destination) en vue d'une optimisation des déplacements. L'intérêt de ce modèle tient en partie à la prise en compte des caractéristiques du réseau et des infrastructures (type et nombre de voies, dimensions, intersections..) et à l'attribution d'un flux de véhicules pour chaque voie avec calcul des vitesses sur chaque tronçon. Utilisé pour l'analyse des schémas d'investissements pour les aménagements de voies routières (planification des infrastructures par le gouvernement), pour l'évaluation de l'intensité des trafics et notamment sur des intersections ou des péages routiers (entrée de Londres par exemple), SATURN a été adopté autant par des universitaires que des sociétés et cabinets privés. Commercialisé et diffusé par le cabinet WS ATKINS¹³⁵, détenant l'exclusivité de la diffusion du modèle, les services de suivi et de relations les usagers ont été déléguées à cette société de renommée internationale. Par contre, la maintenance et l'évolution technique de ce modèle est à la charge de l'ITS de Leeds.
- Un autre modèle de trafic développé par l'ITS, le WEBCOMIS¹³⁶, est très particulier puisqu'il s'agit d'un modèle d'information de gestion des embouteillages (congestion management) basé sur Internet. A l'état de test actuellement sur la ville de Leicester, ce modèle permet de procéder à un zoom et d'entrer dans les réseaux pour repérer les points de congestion (axes, itinéraires saturés), de façon à proposer des itinéraires alternatifs. Ce système de centralisation des informations sur l'état d'occupation des voies routières apporte aussi des données sur l'occupation des espaces de stationnement (parkings, gares routières et ferroviaires) et sur les places disponibles. Une mise en place sur d'autres villes est en projet (ville de Surrey). Les

¹³² Le Laboratoire national de Los Alamos (*Los Alamos National Laboratory* (LANL) connu aussi sous les noms *Los Alamos Laboratory* et *Los Alamos Scientific Laboratory*) est un laboratoire du Département de l'Énergie américain (*United States Department of Energy*), géré par l'[Université de Californie](#), situé à [Los Alamos](#), dans l'État du Nouveau-Mexique. Le laboratoire est une des plus grandes institutions multidisciplinaires du monde. Il est la plus grande institution et le plus gros employeur dans le nord du Nouveau-Mexique avec environ 10 000 employés de l'Université de Californie plus environ 3000 sous contrat.

1/3 des membres de l'équipe technique sont des physiciens, 1/4 des ingénieurs, 1/6 des chimistes, le reste travaillant en mathématiques, informatique, biologie, géologie et d'autres disciplines. Le budget annuel est environ 2 milliards de dollars.

¹³³ modèle d'équilibre partiel utilisant le logiciel GAMS, permettant la simulation du comportement du consommateur en ce qui concerne les choix des modes de transport et de type de véhicule (taille et technologie). Il rend possible l'analyse de l'incidence des choix politiques sur ces choix et les émissions atmosphériques qui en découlent; voir aussi <http://europa.ue.int/comm/environnement/tremove>

¹³⁴ <http://www.transims.net>

¹³⁵ WS Atkins plc est l'un des plus importants fournisseurs de services de consultation et de soutien en technologie au monde. L'entreprise a déjà réalisé de nombreuses études pour le métro de Londres et elle est la plus importante société de génie-conseil du secteur ferroviaire au R.-U., spécialisée en sécurité, en conception de réseaux, en électrification et en signalisation. Site Web : <http://www.atkinsglobal.com>

¹³⁶ <http://www.its.leeds.ac.uk/research/projectDetails.php?id=50>; WEBCOMIS : Web-based Congestion Management Information System ; Dr M.C. Bell (Grant Holder), Dr H. Chen, P.S. Goodman, J.E. Tate ; Soutenu par le Leicester City Council; Projet de développement d'un logiciel d'information de l'état de congestion du trafic en temps réel pour le public par l'usage d'Internet.

collectivités font montre d'un réel intérêt pour cet outil, qui présente l'avantage de centraliser des données du trafic en temps réel et d'y accéder par Internet. Basé sur des modèles de trafic et sur un SIG (Système d'information géographique), WEBCOMIS est alimenté en données en provenance du système de gestion et de contrôle du trafic urbain SCOOT. L'ensemble des données collectées proviennent de capteurs placés aux intersections des axes routiers et est centralisé puis analysé vers un ordinateur central. Le service de la municipalité de Leicester peut procéder alors à une régulation de la circulation par la variation de la signalisation (fréquence des feux, durée des feux...).

c) La modélisation de la demande de transport est plus spécifiquement l'objet de recherche de l'université d'Oxford : les travaux de modélisation entrepris par le Transport Studies Unit d'Oxford sont liés à des programmes spécifiques en dehors du champ des enquêtes ménages de type origine-destination que nous avons évoqué ci-dessus. Deux programmes sont cités par John Preston, directeur du TSU, à savoir :

- celui achevé nommé HATS, outil servant à l'amélioration des services des réseaux de transport public
- le programme TEST (Tools for Evaluating Strategically Integrated Transport), en cours, la première phase dite TEST 2002 ayant consisté à étudier les liens entre modélisation et contrôle de trafic, modélisation des réseaux en matière de transports publics, modélisation des itinéraires. La seconde phase de TEST (2005) visera à intégrer la modélisation des itinéraires avec la modélisation des réseaux, en recourant à des modèles élaborés par des partenaires (programme SATURN¹³⁷ de l'université de Leeds avec élaboration du modèle CAR TRAFIC ; le modèle CONTRAM¹³⁸, conçu par le TRL, Transport Research Laboratory, le modèle VIPS pour Volvo Integrated Planning System développé par la société suédoise Volvo) ainsi que des modèles d'itinéraires spécifiques développés à Oxford. L'étude TEST rassemble plusieurs types de modèles, notamment de simulation, multimodaux, des logarithmes, des modèles basés sur les choix et aides à la décision. Le modèle TEST 1 était de type macroscopique, la version 2 combinait un type micro et macro. Des modèles prédictifs (de réseau, de trafic et d'itinéraires) ont permis de mettre en évidence une demande accrue pour un nouveau système de transports collectifs à Oxford. La dimension microscopique a pour avantage de faire apparaître la dimension de la compétition économique entre plusieurs modes de déplacement. Les collectivités locales (cities) sont de plus en plus demandeuses de modèles permettant d'obtenir des évaluations exactes et réelles de la demande et de la concurrence avec d'autres modes de déplacement. Le modèle TEST a été élaboré en collaboration avec l'entreprise de transport collectif Go Ahead, assurant les relations des bus sur l'agglomération d'Oxford), sans que toutefois le modèle ne fasse pas encore l'objet d'une commercialisation.

¹³⁷ SATURN : Simulation & Assignment of Traffic to Urban Road Networks;

<http://www.its.leeds.ac.uk/software/saturn/saturn.php>

¹³⁸ CONTRAM : **C**ONtinuous **T**RAffic **A**ssignment **M**odel); <http://www.contram.com/>

Le modèle spécifiquement élaboré par le CTS d'Oxford a été conçu à partir de 1995 en recourant à plusieurs modèles différents qu'il a fallu intégrer peu à peu. Ces modèles de simulation de trafic ont été formatés en tant que modèles de choix multimodaux. Le modèle intégré ainsi obtenu, nommé TEST, du nom du programme de recherche, sous une première version dite macroscopique. Ce modèle de prévision des trafics a pour finalité d'évaluer la demande de transport à l'échelle de la ville d'Oxford. Il s'agira d'anticiper sur le phénomène de compétition observé entre les deux principaux modes de transport collectif que sont le bus et le train.

Une réflexion globale de John Preston sur la modélisation met en avant les limites des recours à ces outils : les modèles de type macro sont trop peu détaillés, le nombre des paramètres intégrables étant limité pour développer une approche exhaustive, avec en outre une limite des capacités de traitement informatique des données. Du côté des outils de modélisation de type micro, c'est le manque de données précises qui contraint les chercheurs à procéder à des simulations par défaut. La simulation reviendrait en conséquence à inventer des scénarios plutôt que de se baser sur des données réelles.

4) Les projets de recherche en modélisation

La recherche SRIF2 menée par le laboratoire Transportation Research Group de l'Ecole du Génie Civil et de l'Environnement de Southampton est la seconde partie d'une recherche engagée à l'aide d'un véhicule instrumentalisé mais de seconde génération. La première version a servi les travaux du laboratoire entre 1988 et 1996. De nouveaux appareils de mesure ont été installés à bord du véhicule financé par une firme automobile privée (FIAT). Ainsi, un radar de mesure des écarts de distance entre les véhicules (par infra-rouge sur l'avant et par laser sur les côtés) a pu être installé, ainsi qu'un dGPS (GPS différentiel) fournissant les données sur les vitesses, les accélérations, degrés de pente et de virages, une caméra d'observation des comportements de conduite et un appareil de mesure de la pression exercée sur les pédales (un CANBUS permet d'indiquer les consommations du moteur en fonction des mouvements des pédales, chaque nouveau véhicule sur le marché en UK étant obligatoirement doté de cet équipement). L'autre partenaire privé est la société TRW, laquelle développe des systèmes de transport intelligent (Intelligent Transport System) et donc d'aide à la conduite. Enfin, une transmission des informations des comportements de conduite est effectuée à destination de l'agence privée de gestion des autoroutes.

Le projet MIRACLE porté par le Transportation Research Group de l'université de Southampton permet à l'équipe de recourir à un outil de mesure des vitesses et des émissions (laser ultra-sensible d'origine américaine) et de développer un logiciel d'application. Les mesures des émissions sont prises à partir de points fixes formant un couloir de passage extérieur au véhicule en laboratoire (sur 1,5 m de long) et non plus par recours à un capteur introduit dans le pot d'échappement.

Le projet européen ITS (Intelligent Transport System) est de type horizontal, lancé par la Direction Générale Recherche et la DG Environnement de l'UE, auquel participe le Transportation Research

Group de l'université de Southampton et dont le directeur est assuré par l'IST (Information Society Technologies).

Le projet européen Eu-RAMP mobilise le Transportation Research Group de l'université de Southampton, auprès de 6 autres partenaires (Pays-Bas, INRETS et PHINEX en France, Grèce, Autobahn de Munich, le Bundesland de Bavière et BMW en Allemagne).

Le programme européen DREEAM (Dynamic Region Energy Emission Analytic Model) mobilise le Center for Transport Studies de l'University College of London, avec pour partenaires l'Open University de Londres, les villes de Leicester (UK, Leicester City Council), de Barcelone et de Cerdalogna (Espagne).

Le projet SATURN (1998-2002), sous-projet du programme européen EUROTRAC et dédié à l'évaluation de la qualité de l'air en ville, comprend une thématique spécifique à la mise en oeuvre opérationnelle de modèles intégrés à l'échelle urbaine (SATURN 2003). Le projet a contribué au développement du package TEMMS (Traffic Emission Modelling and Mapping Suite) par l'université de Leeds qui propose un ensemble de modèles, bases de données et outils cartographiques permettant de traiter la pollution urbaine de proximité.

Le programme DRACULA¹³⁹, porté par l'ITS de Leeds, a été conçu à partir de 1985 avec de mises à jour régulières et se trouve être une extension du programme SATURN. Il repose cette fois sur un modèle micro de simulation puisqu'il permet d'étudier les mouvements de véhicules un par un, de simuler les flux en fonction des intersections et donc des modes de comportements lors de changement de voies en toute situation de circulation. Ce modèle DRACULA, non encore achevé (version 10 aujourd'hui), est déjà disponible commercialement et est diffusé par WS ATKINS. Les modèles SATURN et DRACULA peuvent être aisément installés et être utilisés sur un PC, des manuels d'instruction ayant été conçus par l'ITS pour en faciliter l'usage.

La recherche en modélisation Transport/Environnement tient une place prépondérante au sein de l'ITS de Leeds, la majeure partie de la recherche portant spécifiquement sur des travaux de modélisation. En terme de répartition des budgets, cette part attribuée à la modélisation (compétences de mathématiciens et d'informations) atteint plus de 50%, la stratégie consistant à placer des chercheurs sur des projets avec des financements à la clé.

¹³⁹DRACULA : Dynamic Route Assignment Combining User Learning and microsimulation;
<http://www.its.leeds.ac.uk/software/dracula/>

5) Partenaires scientifiques de recherche

Nous devons faire mention ici de l'importance des relations de partenariats scientifiques engagés par les universités anglaises et par les laboratoires de recherche consultés. Bien entendu, la pratique de la langue anglaise favorise et facilite les relations outre-atlantiques, notamment avec les USA (Southampton) et le Canada. Mais ces partenariats s'ouvrent aussi sur les pays d'Amérique latine, d'Asie du Sud-est (Chine pour l'université de Southampton) et pour l'Europe des 25. Les trop rares laboratoires français cités sont ceux de l'INRIA de Versailles (Michel Parent en relation avec le laboratoire de Southampton), l'INRETS (Jean-Louis Madre), le LET (Alain Bonnafous). A vrai dire, c'est le Transport Studies Unit de Southampton et l'ITS de Leeds qui entreprennent des ouvertures de recherche internationale les plus abouties et les plus élargies. L'importance des équipes de chercheurs en effectifs et la présence de professeurs de renommée internationale contribuent à cette visibilité hors du périmètre national.

Pour le CTS de Londres (University college of London), les partenariats présentés sont essentiellement centrés sur le Royaume-Uni, au travers notamment les travaux communs menés avec l'University of Central England, l'Open University de Londres (professeur Milton Keynes), la Metropolitan University de Londres, l'université de Westminster ou encore la Loughborough University.

Parmi les cabinets d'étude privés, celui de Steer Davis Gleaves est cité par Helena Titheridge du CTS de Londres ainsi que le TRL (Transportation Research Laboratory dans le Brakshire). Pour le Transport Studies Unit d'Oxford, le rapprochement avec des collectivités locales, à l'image de la ville de Oxford, a permis de faire valoir l'intérêt de la modélisation des comportements de déplacements des usagers et de la gestion des réseaux de transport collectif. Des collaborations scientifiques sont établies essentiellement avec l'ITS de Leeds (professeur Marc Wardman). Dans le cadre de projets européens, c'est avec le TIS de Lisbonne (Portugal) que des travaux sont en cours. Il s'agit toujours de relations très personnalisées entretenues avec des chercheurs des pays étrangers, et de là l'établissement de collaborations avec les organismes. Le rapprochement avec la France s'est opéré avec le professeur Jean-Louis Madre de l'INRETS, avec un responsable d'études de la SNCF (Christine Villemin) et avec le professeur Alain Bonnafous du LET (Laboratoire d'Economie des Transports). En Allemagne, c'est avec le professeur Rothengatter et l'équipe de son laboratoire de Karlsruhe que les liens sont tissés. Au-delà, les échanges avec l'Australie (professeur David Henslgr de l'université de Sydney) et le MIT (Massachussets Institut of Technology) avec le professeur Moshe Ben Akiva.

Les partenaires privés sont sollicités pour des recherches spécifiques, notamment auprès d'entreprises de transport de la Grande-Bretagne telles que la Transport Company of stage coaches, le First Group, la société AREVA, le Nation Express, le Go Ahead Group, toutes des compagnies privées de transports collectifs (bus, train, avion).

Dans le cadre des programmes de recherche de l'ITS de Leeds que sont notamment SATURN et DRACULA, c'est la société WS ATKINS qui a pris connaissance des travaux de l'équipe de

chercheurs et ont démarché l'ITS pour en acquérir les droits (licence) de développement et de commercialisation. Tout acquéreur du programme ou personnel de la société ATKINS bénéficie de sessions annuelles de formation mises en place par l'ITS. En dehors de la société ATKINS, la plus renommée en matière de modélisation Transport/Environnement, deux autres sociétés d'ingénierie Transport sont citées, à savoir ARUP et MOT MC DONALD. Ces contacts maintenus avec ces grands groupes permettent le placement d'anciens étudiants de l'ITS. Rares sont toutefois les chercheurs et enseignants de l'ITS devenus des dirigeants d'entreprises et de cabinets privés dans ce domaine. Seulement l'un des anciens directeurs de l'ITS (Tony May) a créé et dirigé à mi-temps une société d'ingénierie-conseil, associé avec David Simmons. Il existe à l'université de Leeds une « UNité de transfert des savoirs » (knowledge transfert unit), laquelle encourage ces chercheurs à développer et commercialiser les produits de la recherche pour une plus grande diffusion et utilisation.

Le modèle de gestion des informations liées au trafic développé par l'ITS, le WEBCOMIS, basé sur Internet, a été conçu et développé en partenariat avec la société privée SIEMENS. Les collectivités sont devenues des partenaires incontournables du système SCOOT puisque à ce jour ce sont près de 50 (Londres, Manchester, Leicester, Nottingham) qui l'ont adopté. La popularité du système tient à la centralisation des données collectées en temps réel et à la possibilité de fournir des recommandations pour l'optimisation du trafic. Les résultats sont probants en termes de fluidification des trafics urbains, ceci par une priorité accordée aux transports collectifs tels que les bus. Cette collaboration profite à la recherche de l'ITS dans le sens où la collecte des données en provenance des Cities partenaires, leur stockage autorisé et leur traitement alimentent une base utile pour l'ITS. Chaque chercheur peut accéder aux données centralisées sur un serveur spécial. En retour, chacune des Cities partenaires est autorisée à accéder aux résultats des travaux de recherches menés par l'ITS.

V. Conclusion

La recherche en modélisation des transports est très active en Angleterre, et notamment sur l'évaluation des impacts environnementaux. Une politique volontariste de recherche et d'application visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre se trouve explicitement indiquée dans les axes des travaux de la recherche publique. La spécificité des travaux est d'ordre pragmatique, et ce au travers de deux domaines d'innovation : une ingénierie transversale, mobilisant des chercheurs issus d'horizons différents et réunis au sein d'équipes, d'unités, de groupes de recherche à vocation interdisciplinaire ; une recherche appliquée par le recours à une instrumentation et des équipements de mesure des émissions et impacts générés par les modes de transport. Enfin, les rapprochements avec les collectivités locales pour des programmes de collecte puis de traitement des données par ces instituts de recherche (Southampton, Leeds, Oxford) interpellent fortement sur cette démarche d'une recherche répondant à des politiques volontaristes d'évaluation des externalités et des coûts afférents aux modes de déplacement routier.

Sans vouloir s'en tenir uniquement à la modélisation des impacts environnementaux, la recherche anglaise démontre une forte capacité à se doter des outils de mesure pour renforcer ou constituer des bases de données chiffrées et réalistes. Les limites énoncées tiennent plus aux capacités informatiques de traitement des données et de gestion de ces bases de données qu'aux contraintes d'accès aux données. L'approche par la demande et des comportements des usagers reste bien un préalable nécessaire et incontournable mais désormais supplanté progressivement par une modélisation systématique des usages et des flux à l'échelle des territoires, puis des externalités produites par ces usages et comportements. Rares sont les unités de recherche n'ayant pas intégré la problématique environnementale : il faut même dire que l'environnement constitue une voie de recherche de plus en plus centrale au sein de ces laboratoires.

Les crédits publics de recherche sont très orientés vers le financement de la modélisation transport environnement. L'appui financier apporté par des partenaires locaux (collectivités locales) ainsi que par des partenaires privés (société de gestion des autoroutes, firmes de construction automobile) renforce cette capacité à produire une recherche appliquée et répondant à des besoins et des demandes concrètes.

L'attitude « sociale » des chercheurs en matière de préoccupation environnementale est significative, puisque tous ceux consultés n'hésitent pas à en faire un domaine central de la recherche. Les partenariats ouverts non seulement à l'échelle du pays mais aussi à l'échelle européenne comportent explicitement des volets « environnement », soit sous l'angle des nuisances et pollution soit sous l'angle des usagers sociaux en matière de déplacement.

Si les approches quantitatives tiennent encore une place prépondérante dans la recherche, il s'agit peu à peu d'intégrer des observations sur les comportements des usagers et d'orienter les approches vers des critères et indicateurs qualitatifs. Ceux-ci remplissent même la fonction d'orienter les décideurs publics vers de nouvelles modalités d'organisation des réseaux, de gestion des trafics et d'aménagement urbain.

Annexe 1 : Compléments sur les logiciels européens :

[CONTRAM](#), le "vieux" outil macroscopique d'affectation dynamique du TRL, est la référence en Grande-Bretagne (avec [SATURN](#)), pour les études de trafic urbain.

FLEXSYT

Développé au Ministère néerlandais des Travaux publics à partir du langage dédié FLEXCOL, [FLEXSYT](#) fait depuis peu l'objet d'un site web. On peut y récupérer une version de [démonstration](#) du logiciel et de son intégrateur FLASH, destiné à l'évaluation de systèmes de gestion de feux pour lesquels FLEXSYT sert de simulateur. Une [animation](#) permet d'avoir un aperçu des aspects graphiques. On peut par ailleurs trouver [ici](#) un document plus récent que celui indiqué en bibliographie du document du CERTU.

[PELOPS](#) est une simulation sub-microscopique (modélisation fine du comportement du couple véhicule - conducteur) de l'Université d'Aix-la Chapelle en collaboration avec BMW, dans la lignée de VISSIM (voir ce dernier dans la rubrique LOGICIELS FRANCAIS") et, plus anciennement, des programmes de l'Université de Karlsruhe. On trouve en ligne une [documentation](#) interactive.

AUTOMATES CELLULAIRES

Formalisme utilisé à l'origine par des physiciens statisticiens pour reproduire en particulier l'écoulement des matériaux granulaires, la modélisation par automates cellulaires a été étendue avec succès à l'écoulement du trafic routier dans diverses universités allemandes. De l'Université de [Duisburg](#), on citera [OLSIM](#), simulation en ligne de la ville (lire par exemple ce tout récent [papier](#)) et de l'Université de Cologne, [PLANSIM-T](#) et [FASTLANE](#).

A noter une illustration du modèle de [Nagel-Schreckenberg](#) sur le site de Duisburg et, parmi de nombreux applets, celui de [M. Treiber](#).

Et, même si elle n'est pas européenne, citons encore la page sur l'application des automates cellulaires au trafic du livre de [S. Wolfram](#) «A new kind of science».

LOGICIELS EXPÉRIMENTAUX

DRACULA : Le programme d'affectation dynamique [DRACULA](#), développé comme [SATURN](#) à l'Université de Leeds, est jumelable à ce dernier.

FOSIM et SIMONE : Deux programmes de simulation microscopique de l'Université de Delft s'attachent à représenter le trafic autoroutier, [FOSIM](#) pour les infrastructures et véhicules conventionnels, et [SIMONE](#) pour les applications ITS.

HUTSIM : Le site consacré au programme finlandais [HUTSIM](#) est figé, alors que le produit, initialement dédié aux carrefours à feux et mettant en œuvre la logique floue, semble toujours évoluer.

HELENA : Les [informations](#) sont peu nombreuses sur [HELENA](#), programme de simulation macroscopique multivoies et multiclassés développé à Delft.

OSSA : Développé dans le cadre d'un projet européen, OSSA ne désigne pas un nouveau programme, mais une architecture ouverte destinée à intégrer des parties de simulateurs existants. On peut trouver des renseignements sur les sites de deux des partenaires, les universités de [Westminster](#) et de [Namur](#). A signaler aussi sur le site du partenaire français, l'[INRIA](#), une [présentation](#) faite en janvier 2003 aux rencontres INRIA – industrie dans le domaine des transports. On retrouve dans OSSA plusieurs des partenaires du projet [HIPERTRANS](#) (terminé depuis 1999).

SUMO : Un petit nouveau dans le domaine de la simulation microscopique, [SUMO](#), conjointement développé en Allemagne par les laboratoires [DLR / IVF](#) (Institut de Recherche en Trafic du Centre de Recherche Aéronautique) et [ZAIK](#) (Université de Cologne) à partir d'outils mis au point dans chacun des deux organismes. On peut télécharger le [source](#).

TRAFLOW-Pack : Développé aux Pays-Bas avec MathLab, [TRAFLOW-Pack](#) est une boîte à outils libre pour modèles macroscopiques, plutôt destinée à la recherche.

ZOOM : Peu d'information sur le projet suédois [ZOOM](#) visant à combiner les niveaux mésoscopique (avec le programme MEZZO) et microscopique. Avant de quitter le site du CTR, ne pas oublier de faire un tour du côté des [publications](#) (la plupart sont en anglais), la simulation étant la spécialité de cet organisme.

N.B. On ne peut quitter ce sujet sans mentionner le site, maintenu par l'Université de Leeds, du projet européen du 4ème PCRD [SMARTTEST](#), où l'on trouvera notamment un état de l'art détaillé.

Annexe 2 : Les documents scientifiques cités

Quelques documents scientifiques, revues, journaux spécialisés ont été cités au fil des entretiens.

Nous en énumérons quelques uns parmi les plus significatifs :

- La revue *Transportation Research*
- *l'European Journal of Transport*
- *Human Factors* (Southampton)
- *Transportation Research Record* (TRB), dont la base documentaire est située à Cambridge (service de publication électronique, accès à banque de données universelles)
- *Ecological Modelling*
- *Environment and Planning*
- *Energy Economics*
- *Atmosphere environment*
- *Files of total environment*

Annexe 3 : Liste des acronymes et abréviations

AMV : A.Voorhees Ltd devenu MVA

BAS : British Antarctic Survey

CERT : Centre for Environmental Research & Training de l'Université de Birmingham

CONTRAM : **C**ONtinuous **T**Raffic **A**ssignment **M**odel

CTS : Center for Transport and Society, université de Bristol (University of the West of England)

CTS-IC : [Centre for Transport Studies at Imperial College](#)

CTS-UCL : [Centre for Transport Studies at UCL](#), University College of London

DEFRA : Department for Environment, Food and rural affairs, ministère de l'Environnement

DTI : Department of Trade & Industry, Ministère du commerce et de l'industrie

DRACULA : **D**ynamic **R**oute **A**ssignment **C**ombining **U**ser **L**earning and microsimul**A**tion

DREEAM : programme européen Dynamic Region Energy Emission Analytic Model

ECI : Institut des changements de l'environnement ([Environmental Change Institute](#), université d'Oxford).

ESTEEM : European Scenarios on Transport-Energy-Environment for Metropolitan Areas

ICON : Imperial College Consultants

INSET : In Service Training

ITS : Intelligence Transport Systems

ITS : Institute for Transport Studies, université de Leeds

MIT : Massachussets Institut of Technology

MSc : Master en Sciences

NCC : Conseil national des programmes d'études

OUCE : Centre d'études pour l'Environnement de l'Université d'Oxford ([Oxford University Centre for the Environment](#))

SATURN : Simulation & Assignment of Traffic to Urban Road Networks

TAMS : Tippet Abbey Maccarthy Stratton Ltd

TCS : program Teaching Company Scheme, ministère de l'industrie et du commerce

TEMMS : Traffic Emission Modelling and Mapping Suite

TPS : Transport Planning Society

TRANSIMS : modèle Transportation Analysis and Simulation System

TRG : Transportation Research Group, université de Southampton

TRL : Transport Research Laboratory

TSG : Transport Studies Group, université de Westminster

TSU : Transport Studies Unit de l'université de Oxford

VIPS : modèle VIPS pour Volvo Integrated Planning System

WEBCOMIS : Web-based Congestion Management Information System

CONCLUSION

L'investigation menée sur la recherche dans le domaine de la modélisation Transport/ Environnement, pour les seuls transports routiers, a mis en évidence l'existence de laboratoires spécifiques, de chercheurs spécialisés, d'équipes disciplinaires et pluridisciplinaires, de réseaux constitués à partir ou au fil des projets nationaux, européens ou internationaux. Un premier inventaire a permis de recenser ainsi 60 universités sur 14 pays (hors Asie) dont les axes de recherche portent sur la modélisation Transport/Environnement, les plus nombreuses étant implantées aux USA, au Canada, au Royaume-Uni et en Allemagne. Les interactions Transport/Environnement identifiées au travers ces laboratoires portent soit sur les impacts (pollution de l'air, bruit et nuisances, contribution à l'effet de serre), soit l'organisation et la planification des déplacements (études de la gestion des flux, optimisation, régulation), soit sur les techniques d'aménagement routiers (infrastructures, conception et construction), soit sur les technologies (motorisation, informations des usagers, systèmes de transmission, électronique embarquée). Un domaine spécifique émergent est toutefois observable, à savoir une recherche axée sur l'étude des comportements des usagers, soit en matière de conduite des véhicules (perception sensorielle, ergonomie, réflexes), soit en matière de choix des itinéraires en fonction des informations reçues. Autrement dit, la modélisation Transport/Environnement tend à se déployer sur l'ensemble des disciplines de l'ingénierie et des sciences technologiques et socio-économiques, en même temps qu'elle tend à occuper la chaîne complète de la mobilité, depuis la configuration des espaces routiers jusqu'au comportement des conducteurs, en passant par la motorisation, l'organisation et la gestion des flux, les consommations énergétiques, les impacts sur les milieux, les dispositifs et technologies de communication et d'information etc. La modélisation semble constituer un domaine-carrefour à la fois de compétences, de corps de disciplines scientifiques, d'équipes de recherche et de problématiques complexes nécessitant une approche progressivement transversale. Par rapport à la recherche française en modélisation Transport/Environnement, il semble que la différence apparaisse dans une visibilité et un investissement plus conséquents de la part de certains centres majeurs de la recherche, tels que l'ITS de Leeds (Angleterre), le CRT de Montréal (Canada), les universités de Dortmund, de Aachen et de Karlsruhe (Allemagne), le MIT de Berkeley (USA).

En termes de bases de données existantes et disponibles sur l'évaluation des impacts environnementaux liés au transport, c'est au niveau de l'OCDE que se concentrent l'essentiel des apports émanant de tous les pays adhérant et servant à une modélisation importante (Environmental Valuation Reference Inventory, EVRI).

C'est à l'échelon européen que les programmes de recherche en modélisation Transport/Environnement ouvrent aussi des financements conséquents et suscitent des partenariats élargies non seulement entre pays membres mais bien au-delà. Les Programmes de type PCRD (Cadre de Recherche et de Développement de la Commission Européenne, [PCRD](#)) et COST (European CO-operation in the field of Scientific and Technical research, [COST](#)) en sont des exemples significatifs. Un repérage thématique des recherches initiées par la commission européenne

ouvre le champ des approches transversales où la modélisation peut constituer l'appareillage adapté pour articuler les différents maillons de la chaîne de la mobilité (énergie, environnement, transport, sécurité etc). Les grands projets d'infrastructures européennes (30 Projets Prioritaires, tout mode de transport) mobilisent les laboratoires de recherche des pays membres au titre des définitions politiques, scientifiques et techniques de ces aménagements s'inscrivant géographiquement sur les territoires (concept d'Axe ou Corridor européen). Un modèle d'analyse des réseaux trans-européens de transport, TEN STAC (Scenarios, Traffic Forecasts and Analyses of Corridors on the Trans-European Network) sert actuellement d'outil à la commission européenne pour évaluer tous ces grands projets d'infrastructures (fixés entre 2000 et 2020). TEN-STAC formule des prévisions pour tout mode de transport, pour tout réseau entre les régions des 25 états-membres et évalue dans ce cadre le effets des grands projets ; ces projets sont soumis au Parlement européen (200 Milliards d'euros au total). 32 indicateurs servent dans l'évaluation des projets : indicateurs environnementaux, sociaux (accessibilité) et économiques. Mais à la différence de la démarche française, recourant essentiellement à des valeurs tutélaires ou légales, c'est sur la base d'un consensus des chercheurs mobilisés que s'établit l'harmonisation des méthodes de normalisation et d'évaluation. Ce ne sont pas des dialogues politiques sur les effets mais bien des confrontations techniques entre experts qui sont alors exigées. Cette idée vaut par exemple pour les modèles devant servir l'évaluation des impacts sonores (programme Harmonoise), la modélisation des émissions atmosphériques pour tous modes de transport (programmes MEET et ARTEMIS, action COSTE, modèle COPERT 3), sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre (projet MEET/COSTE, programme CORIN/AIR).

Ces éléments d'un contexte actuel de développement de la recherche dans le sens d'une harmonisation des méthodes de la modélisation pour répondre à des objectifs définis (niveaux sonores, taux d'émissions de CO²) pour l'ensemble des pays membres de l'union européenne, renforcent cette nécessité d'une connaissance des approches disparates rencontrées entre équipes de chercheurs et donc des outils de modélisation auxquels elles recourent. A titre d'exemple, deux philosophies de la modélisation sont observables en Europe comme l'observe Jacques Lambert de l'INRETS, à savoir celle allemande où il s'agit de procéder à des calculs (fiabilité des matrices et confiance dans les formules et les acteurs), celle française recourant à des mesures in situ pour vérifier. Notre étude entend contribuer à faire ressortir en partie ces conceptions de la recherche en modélisation et d'en établir un premier état des lieux de part et d'autre à l'échelle de quatre pays dont deux sont très présents sur ces programmes européens.

Si obligation est faite en France et aux Pays-Bas de recourir à des modèles nationaux pour le domaine des transports, il n'en va pas de même au Canada, en Grande-Bretagne et en Allemagne dans les analyses de projets. C'est plutôt à l'échelle de territoires, de régions, de Länder que sont élaborés des outils et des systèmes de modélisation, au plus près des contextes locaux et des politiques des collectivités locales.

Pour la recherche en modélisation Transport/Environnement au Canada, deux grands axes de programmes de recherche sont financés à l'initiative des ministères fédéraux : les grandes infrastructures traversant cette vaste contrée (planification, intégration paysagère, préservation des

milieux naturels) ou l'analyse de la demande et des politiques de transport d'une part (espaces urbains), l'évaluation des coûts, des choix technologiques et des impacts écologiques globaux d'autre part. La proximité géographique avec les USA favorisent des transferts de compétences, de mutualisation des outils et des projets de recherche. Les équipes de recherche sont tout particulièrement caractérisées par une très forte mixité culturelle, du fait des échanges entre institutions (universités), de la mobilité géographique valorisée et de doubles statuts et fonctions. Rares sont les étudiants, enseignants et chercheurs qui n'ont pas suivi un parcours de formation à l'étranger ou qui n'entreprennent pas des travaux hors du Canada. Cette mobilité s'exerce non seulement dans le temps (par étapes successives) mais aussi dans une double activité professionnelle, comme par exemple partagée entre une expertise-conseil dans le secteur privé et un poste d'enseignement dans des institutions publiques. Nous avons découvert cette spécificité des rapprochements entre le public et le privé au travers des parcours mais aussi dans la chaîne de recherche et développement. La création de compagnies en charge de développer les travaux de recherche publique pour en garantir une commercialisation (sous forme de produits ou de services) est monnaie courante et considérée comme légitime sinon indispensable. Ces spin-off voient ainsi les chercheurs sortir du giron de l'université et des laboratoires pour se rapprocher des marchés et répondre à une demande de prestation commerciale. L'intérêt de ce positionnement et de ces parcours tient en partie à une appréhension globale de la chaîne de conception, production et diffusion des objets de la recherche en modélisation. La pleine connaissance des conditions de la conception d'un modèle, puis des applications utiles et enfin des canaux de promotion et de diffusion de ces modèles alloue une crédibilité et une légitimité à ces enseignants-chercheurs-consultants. Ensuite, la capacité à obtenir à la fois des subventions publiques et privées et de se positionner sur les marchés publics assure une continuité et une stabilité dans les sources matérielles de conduite des travaux. Autre caractéristique intéressante en matière de modélisation, l'évolution d'une structure de modélisation existante dans des versions successives de plus en plus intégrées et optimisées (cas de TRIPLEX, de MARKAL) ou de versions adaptées au pays (MOBILE6-C, MAPLE 6). Enfin, les relations établies entre universités, laboratoires et équipes de recherche sont de type décloisonnées, incitant à des croisements disciplinaires où la place de l'ingénierie scientifique et technique n'empiète pas, à quelques exceptions près, sur la place accordée aux sciences économiques et sociales, voire aux sciences humaines.

Nous retrouvons la plupart de ces caractéristiques canadiennes en Angleterre, notamment au travers des sources de financement privées/publiques, à l'image du TRG (Transportation Research Group) de l'université de Southampton. Le projet de modélisation des comportements de conduite (modèle FLOWSIM, simulation microscopique du comportement du conducteur en situation de conduite) repose sur un équipement et une instrumentation de véhicules très onéreux : sans le soutien des firmes de l'industrie automobile, ce projet n'aurait pu être lancé. La même démarche de valorisation des résultats de la recherche par la création de structures privées ad hoc de type spin-off s'observe, en Angleterre comme en Allemagne, dans l'articulation entre activités de recherche fondamentale et appliquée, dans le positionnement vis-à-vis de marchés potentiels (appels d'offre publics, commercialisation, prestations de service de maintenance, formation et conseil). La double

compétence, en même temps qu'une double situation professionnelle dont se dotent les enseignants-chercheurs et consultants, autant à Montréal, qu'à Karlsruhe et à Leeds ou Southampton effacent certes les lignes de marquage des profils mais sont vécues comme légitimes et surtout valorisées.

L'ouverture aux partenariats européens et extra-européens est une constante observée sur les trois pays que sont le Canada, l'Angleterre et l'Allemagne, et dans une moindre mesure au Japon. Avec les projets ITS (Intelligent Transport System, émanant de la DG Environnement de l'UE), Eu-RAMP, DREEAM (Dynamic Region Energy Emission Analytic Model), EUROTRAC ou HARMONOISE, nous retrouvons des équipes et laboratoires britanniques et allemands entre autres. Ces rapprochements s'effectuent soit sous la contrainte de directives en préparation ou engageant les pays membres à construire des référentiels communs (harmonisation des méthodes, comparaisons des données), soit sur des champs d'études communs ou à l'échelle de territoires d'expérimentation de dispositifs (mesures des bruits, des polluants atmosphériques, des politiques urbaines d'aménagement, de constructions etc.).

Pour ces quatre pays, l'engagement dans le cadre du protocole de Kyoto de lutte contre le changement climatique et donc de réduction des émissions de gaz à effet de serre constitue un point de levier pour la recherche en modélisation non seulement des impacts écologiques globaux mais aussi sur la contribution des transports à ces impacts et sur les évaluations des coûts de changements technologiques ou de politiques de déplacement. Aussi est-il utile de rappeler que le traité de Kyoto oblige chaque pays à se justifier auprès d'experts étrangers s'agissant de ses politiques de limitation des gaz à effet de serre. Plus précisément, il faut expliciter le effets des politiques sur les cinq secteurs d'activités à gaz à effet de serre (transport, industrie, agriculture, habitat,...). Des confrontations techniques entre experts sur la base de modèles distincts et distants sont alors exigées par la commission européenne pour définir une méthode commune entre pays membres en vue de respecter les objectifs fixés de réduction des émissions de gaz à effet de serre par exemple.

Trois grands traits qualifient les travaux de modélisation Transport/Environnement observés sur ces quatre pays ayant fait l'objet de notre investigation : en premier lieu, une approche volontairement pragmatique quant aux conditions de production des données servant les modèles et quant à l'utilisation de ces modèles ; en second lieu, une approche transversale, mobilisant des équipes pluridisciplinaires, voire inter-disciplinaires, y compris dans les laboratoires d'innovations technologiques (le cas de Leeds, de Southampton en Angleterre, de Aachen en Allemagne, de l'ITPS de Tokyo, du National Research Institute of Police Science de Tokyo) ; en troisième lieu, une offre de recherche répondant à des problématiques locales (territoires urbains, cities, agglomérations, régions, länder etc.) et servant d'aides à la décision des politiques locales d'aménagement, de planification des transports. Les recours à la cartographie sous forme de SIG (fournies par les collectivités, voire par les entreprises gestionnaires des voiries) sont très prisés par les laboratoires de recherche ayant passé des conventions ou des contrats avec les collectivités au point de bénéficier de bases de données ou de les fournir (prestation). Pour aller plus loin encore dans ce sens, les laboratoires de recherche se dotent d'équipements et de ressources humaines spécifiquement employés à des fins de production et de traitement de données, puis de transmission aux services publics concernés et de

diffusion sur des sites Internet (alimentation en temps réel de données sur les mesures ou modélisations des concentrations, dispersions de polluants, d'émissions de bruit etc.).

Notre étude de terrain a certes souffert d'une certaine hétérogénéité dans la répartition et dans la taille des entités et des acteurs de la modélisation consultés. Nous convenons que la représentativité n'a pu être atteinte ni entre les institutions publiques (ministères), ni entre les universités, ni entre les instituts privés ou sociétés d'ingénierie et cabinets d'étude. Les contraintes de prises de contact préalables, de disponibilité des personnes, de mobilité sur place ou encore d'identification des structures (caractère hybride de certaines, démultiplication des filiales, des antennes et des services) et des interlocuteurs (jeu des intermédiaires) ont influé fortement sur cette disparité d'un pays à l'autre.

Mais il ressort toutefois de ce tableau des configurations socio-institutionnelles étrangères à la fois des confluences quant aux démarches adoptées (rapprochements des secteurs privés-publics, voire partenariats et emboîtements ; valorisation des travaux de recherche par création de structures ad hoc ; mobilité géographique, professionnelle et institutionnelle des chercheurs ; constitution de bases de données sur des campagnes de mesures ou au fil d'enquêtes au plus près des territoires concernés, à l'aide notamment de systèmes d'information géographique ; plateformes de mutualisation de compétences de différentes disciplines ou autour de problématiques communes etc.) et des écarts entre les champs environnementaux couverts par la modélisation (niveau global, régional, local sur la dimension spatiale ; les types d'impacts ; l'échelle temporelle), ou le type de modèle adopté (ingénierie microscopique, macroscopique, modèles de planification, d'optimisation technico-économique etc.). Ces disparités épistémologiques tiennent à la fois à la culture de l'ingénierie dans l'enseignement supérieur et dans les services publics (services d'état, des territoires) du pays concerné mais aussi à la politique nationale en matière de transport (fortement tributaire des positionnements économiques et stratégiques de développement) et d'environnement.

Enfin, pour les disparités liées aux cultures de l'ingénierie spécifique en matière de modélisation Transport/Environnement, nous suivrons le travail de l'équipe du Laboratoire d'Economie des Transports (LET), lequel rend explicite dans un premier temps les effets environnementaux retenus dans notre recherche et ici recensés quant à ceux générés par les transports routiers. Après ce cadrage sur la dimension « environnement », il s'agira de définir les facteurs à l'origine de ces impacts pour enfin aborder une typologie des modèles T&E à l'aune des cadres fixés par l'approche DPSEEA (OMS) selon le cycle de vie de polluants, par l'approche « trafic », par l'approche des « champs environnementaux ». Nous verrons alors comment l'ensemble des modèles identifiés à l'interface Transport / Environnement se répartissent dans un tableau général en fonction des niveaux d'appréhension spatiale et temporelle, du type de modélisation requise en fonction du cycle de vie des polluants, de la représentation du trafic routier puis des champs environnementaux.