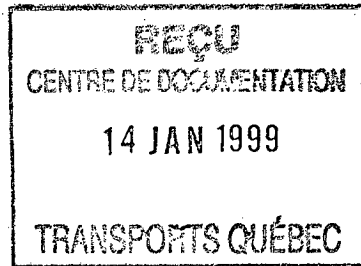


523842

Compte-rendu

**11^{ème} Conférence Internationale
du Groupe des Usagers d'EMME/2**

tenue du 23 au 25 Octobre 1996
à Toronto, Canada



MINISTÈRE DES TRANSPORTS
DIRECTION DE L'OBSERVATOIRE EN TRANSPORT
SERVICE DE L'INNOVATION ET DE LA DOCUMENTATION
700, Boul. René-Lévesque Est, 21^e étage
Québec (Québec) G1R 5H1

Préparé par : Pierre Tremblay, ing.,

Service de la modélisation des systèmes de transport
Direction de la Planification des transports
Ministère des Transports

1er novembre, 1996

CANQ
TR
PT
PT
102

1. Introduction

La 11^{ème} conférence internationale des usagers d'EMME/2 avait lieu à Toronto, du 23 au 25 octobre 1996. Elle regroupait 85 participants, venant des pays suivants (selon l'importance de la participation) : Canada, États-Unis, Norvège, Suisse, Pologne, Royaume-Uni, Australie, Brésil, Arabie Saoudite, Afrique du Sud (liste des participants disponible à mon bureau).

Je présentais aussi une communication, faisant un survol des plus récentes innovations apportées à notre modèle de simulation routière pour la Région de Montréal.

Fait à souligner, la conférence se déroulait au moment même où la ville de Toronto connaissait deux jours d'importantes manifestations (« Days of Action ») à l'encontre du Parti conservateur provincial, qui faisait simultanément son congrès annuel dans notre hôtel. Ces événements ont obligé les organisateurs de la conférence à en remanier le programme, mais aucun impact significatif n'a finalement été subit par les participants.

Le présent résumé est divisé en trois sections, correspondant respectivement aux conférences présentées, aux ateliers de travail et à la visite technique de la nouvelle autoroute « à péage électronique » .

2. Conférences

On présente ici un bref sommaire des présentations, en soulignant, le cas échéant, les points plus intéressants pour nous. Seul l'auteur principal est indiqué. Certains des textes des conférences (marquées de l'icône ■) sont disponibles, à mon bureau.

2.1 Useful EMME/2 Utilities; Loy Cheah, Region of York (Ontario).

Programmes utilitaires développés en C sous Unix, pour la codification de réseau et la manipulation de matrices. J'ai demandé copie de ces programmes, sans frais, mais il faudra les adapter à notre contexte d'opération.

Trois programmes sont particulièrement intéressants ; le premier dresse automatiquement un sommaire descriptif d'une banque de données (utile pour la documentation et l'archivage). Un autre permet de lister automatiquement tous les numéros de noeuds disponibles pour un scénario donné. Une macro permet d'extraire des données matricielles en format texte général.

2.2 Use of EMME/2's Graphic Display Features; Sundar Damoradan, Region of Peel (Ontario).

Présentation d'utilitaires développés en Basic avec macros permettant de déterminer le centroïde d'une agrégation de zones (pour fins d'affichage de données matricielles) ou encore d'afficher des données vectorielles zonales par hachurage de polygone (carte thématique).

Ces utilitaires ne sont d'aucun intérêt véritable pour nous puisqu'on préfère de loin utiliser un SIG, comme MapInfo, pour préparer nos cartes thématiques. C'est plus simple et beaucoup plus efficace.

2.3 Iterating between EMME/2 and HCS to forecast the effects of construction delays on Highway traffic volumes; Edwin Hull, Vancouver (B.C.).

Processus manuel, itératif, utilisé dans un exercice de planification stratégique pour tenir compte, dans les simulations Emme/2, des délais imposés par un feu de circulation ajouté temporairement sur un chantier (en cinq phases de construction). On s'est servi des procédures d'analyse de feux de HCS, en y important les flux simulés par Emme/2. Par la suite, les temps simulés par HCS sont réinjectés dans Emme/2 et le processus recommence.

L'étude a donné des résultats adéquats, quoique la démarche est fastidieuse. En fin de compte, le modèle avait prévu qu'une bonne part du trafic initial se redirigerait sur d'autres corridors, ce qui fut le cas. Ceci ressemble à notre propre expérience, avec les travaux de réfection de la Métropolitaine, il y a quelques années.

2.4 Using EMME/2 to estimate travel patterns during the Olympic Games; Kostas Rontiris, Cape Town (South Africa). ■

Démarche suivie par le Groupe qui a préparé la proposition, au Comité International Olympique, de la ville de Cape Town, pour la tenue des Jeux de 2004. Il s'agit d'un processus extrêmement lourd et détaillé, dont un volet concerne spécifiquement les transports.

Un modèle Emme/2 a été créé pour effectuer toute la planification des transports durant les jeux, à partir de la génération des déplacements pour chaque classe de personnes (athlètes, officiels, arbitres, médias, bénévoles, spectateurs, etc.) et leur distribution entre les différents lieux de résidence (incluant un complexe hôtelier temporaire sur paquebots) et les sites olympiques. Les matrices de demande, représentant chacune des heures de la journée, pendant 17 jours, ont été fabriquées. La stratégie de transport fait appel massivement au réseau de trains de banlieue. Le modèle a permis de tester et d'optimiser plusieurs scénarios de calendrier et de localisation d'événements, afin de respecter la capacité de transport disponible.

2.5 The subarea planning macro; Vladimir Livshits, Toronto (Ontario). ■

Procédure d'agrégation des zones et du réseau routier, pour l'analyse sectorielle. La procédure se présente comme un ensemble de macros Emme/2 et permet d'utiliser un modèle régional agrégé en grands secteurs, en conservant un détail plus fin pour la sous-région à l'étude.

Cette approche est plus ou moins intéressante pour nous, compte tenu de la complexité engendrée par la cohabitation de deux niveaux de codification dans le modèle et du fait que la puissance de calcul de nos ordinateurs diminue la nécessité de l'alléger. En d'autres mots, le modèle perd en simplicité ce qu'il gagne en vitesse de calcul.

2.6 Making do with less: Developing a travel demand model without home interview data; Steve Ruegg, Minneapolis (USA). ■

Démonstration d'une méthode de « reverse engineering » pour développer un modèle de génération-distribution simplement à partir de comptages de circulation (avec la macro DemAdj d'Emme/2), pour une ville de petite taille. Une matrice initiale est d'abord estimée sur la base des comptages. Le modèle part ensuite d'une structure fonctionnelle déjà validée pour d'autres villes semblables et estime les paramètres des équations de génération et distribution à rebours. Le modèle de génération est ensuite utilisé « par en avant » pour fabriquer une nouvelle matrice de demande, elle

même réajustée ensuite sur les comptages. Le processus à rebours recommence et on itère ainsi jusqu'à stabilisation de la matrice.

Cette approche donne des résultats acceptables, pour une petite ville où il n'y a pas trop de congestion ni de système complexe de transport en commun. Il faut aussi disposer d'une très bonne banque de comptages routiers. Le modèle permet alors des analyses au niveau macro-stratégique.

2.7 Generalized cost functions, Matrix convolution and Modeling of choice of Ferry terminal and access/egress mode combinations; Youssef Dehghani, Seattle, WA (USA). ■

Modèle incrémental de prévision des achalandages pour le réseau de traversiers de l'État de Washington, pour la région de Puget Sound. Le modèle est basé sur une enquête O-D à bord des traversiers ; il est composé de trois modèles logit incrémental imbriqués. Le premier estime d'abord les part selon le type d'embarquement (auto ou piéton) ; le second décompose les auto embarquantes selon qu'il s'agisse de véhicules à haute occupation ou non ; le dernier modèle décompose les usagers piétons selon leur mode d'accès au ferry.

La modélisation s'appuie sur des fonctions de coûts généralisés et la méthode des convolutions de matrice permet de conserver l'intégrité de l'information pour les déplacements bimodaux (origine-jonction-destination). L'exercice réalisé à Seattle sera certes intéressant pour nous, dans le cadre du projet de recherche actuellement en cours pour développer un modèle incrémental de répartition modale pour la région de Montréal.

2.8 Implementation of Highway Capacity Manual based volume-delay functions in a regional trafic model: At van den Hout, San Jose, CA (USA). ■

Pour contourner le fait que les fonctions volume-délais traditionnelles (du type BPR) sont incapables d'estimer convenablement les vitesses en congestion, cette étude a implémenté les approches du nouveau Highway Capacity Manual pour estimer les capacités et fonctions de délais sur les routes. Cette méthode calcule le temps de parcours sur les liens en trois composantes : temps de roulement sur le lien ; temps requis à l'intersection ; perte de temps pour accélérations/décélérations. Compte tenu du caractère régional du modèle, la méthode retient des paramètres moyens pour l'ensemble du réseau, plutôt que de traiter cas par cas chaque intersection.

Les résultats obtenus sont très encourageants et produisent des estimations raisonnables autant pour les délais que les volumes simulés. Des expériences ont aussi été faites pour calculer les chemins routiers en tenant compte des coûts généralisés de déplacement ; les meilleurs résultats ont été obtenus avec une valeur du temps de 2,75 \$ US / hre (± 4 \$ CAN) et de 0,035 \$ US / km ($\pm 5\text{¢}$), ce qui correspond au tiers de la valeur utilisée dans leur modèle de choix modal.

Cette expérience mérite d'être analysée plus en profondeur pour notre propre modélisation, basée actuellement sur des courbes v/d en « S » qui ont une performance très limitée pour les conditions de sur-congestion.

2.9 Intersection Based Volume-Delay Functions: Terry Partridge, Vancouver (Canada). ■

Dans le même esprit que pour la conférence précédente, on a développé pour la grande région de Vancouver une approche de fonctions volume-délais en deux composantes : temps sur le lien et temps perdu à l'intersection. Le succès de cette méthode, assez simpliste, dépend beaucoup d'un classement adéquat des liens routiers. À cet égard, l'approche retenue est similaire à celle appliquée

à Montréal ; les liens sont typés de façon objective en fonction de la vitesse permise et de leur capacité nominale, ce qui permet une codification plus cohérente du réseau.

Les résultats obtenus vont vers une bien meilleure estimation des temps réels et des flux simulés, tel que confirmé par des comparaisons avec des comptages et des temps de déplacement observés. L'approche offre aussi l'avantage de pouvoir représenter explicitement les aménagements spéciaux aux intersections (voies de virage) et d'en mesurer adéquatement les retombées.

2.10 An overview of some innovations in trafic modeling with emme/2 at Transports-Québec: Pierre Tremblay, Montréal (Canada). ■

Cette communication résume les efforts réalisés dans les dernières années au Ministère des transports du Québec pour améliorer la performance des simulations routières. La présentation faisait un survol des méthodes et innovations s'appliquant au Modèle régional de Montréal et touchait les points suivants : classification routière et caractéristiques dynamiques des liens, courbes volume-délai en « S », constitution des matrices de demande, considération des poids lourds, facteur d'heure de pointe variable, validation du modèle (isochrones et comptages), analyses particulières (sur-congestion, voies réservées VOE, impacts environnementaux, usage inter-municipal du réseau).

2.11 Modeling Congestion pricing in the Oslo Region: Odd I Larsen, Oslo (Norvège). ■

Depuis 1990, la région d'Oslo utilise un système de péage très particulier ; il s'agit d'un « anneau de péage » asymétrique qui ceinture le noyau central de la région. Tous les véhicules paient un droit pour entrer dans le centre, mais non pour en sortir. Le système est électronique (sans arrêter les véhicules) et opéré par une compagnie publique, qui transfère les revenus au gouvernement. Le tarif moyen équivaut à 1,60 \$ Can, le double pour les camions.

Le système, initialement conçu comme une source de financement universel pour l'ensemble du réseau routier, pourrait maintenant être utilisé pour « gérer la demande » en tarifant la congestion (congestion pricing). L'étude, réalisée à l'aide de modèles Emme/2 couvrant les quatre périodes de la journée, intègre une approche de choix modal et de choix de l'heure du déplacement (logit), sur la base des coûts généralisés. La valeur moyenne du temps est de 7,20 \$ Can.

La préoccupation majeure qui sous-tend la planification à Oslo est de minimiser les impacts environnementaux. De façon simplifiée, en se basant sur la relation: congestion = pollution = consommation, la fonction objective devient la minimisation de la consommation de carburant. L'étude a permis de démontrer la relation qui existerait entre l'augmentation du tarif routier et le transfert vers le t.c. ou vers d'autre période de la journée (où il y a effet combiné d'une tarification différenciée et d'une congestion moins forte). L'étude a aussi évalué les tarifs « idéaux » représentant le coût marginal d'utilisation du réseau routier congestionné.

Cette étude est très d'actualité pour nous, considérant les préoccupations du MTQ pour la région de Montréal. Il faut cependant être conscient que ces résultats sont très peu transférables ; les approches de modélisation employées demeurent par contre adaptables à notre contexte.

2.12 Using Emme/2 in Simulating tolling strategies for Highway 417 in Toronto: Ali Mekky, Toronto (Canada)

La région de Toronto, avec 800 km² et une population d'environ 5 millions d'habitants, connaît une croissance qui continue d'être exceptionnelle en Amérique du Nord. Il y a quelques années, le Gouvernement ontarien a confié au secteur privé la construction et l'exploitation (pour 30 ans) de la

nouvelle Autoroute 407, en contournement de la 401 largement sursaturée, malgré ses 14 voies de largeur. La présentation décrivait l'emploi d'un modèle Emme/2 pour tester différents scénarios de tarification, avec objectif de maximiser les revenus générés par le péage.

La préoccupation fondamentale était de tester l'emploi d'une classe de péage « fixe » pour les usagers voulant conserver la confidentialité de leurs mouvements, en complément à la tarification variable (selon les km parcourus) pour les usagers ayant un transpondeur. Il a été démontré que les recettes supplémentaires que générerait une telle option de tarif fixe sont très marginales et cette option n'a finalement pas été retenue.

Une étude a été faite à Toronto pour déterminer la « valeur du temps » ; on a retenu une catégorisation des déplacements selon le motif et le revenu annuel des automobilistes et on emploie un coût moyen pondéré.

Il est intéressant de noter qu'un scénario de tarification sur la 401 pour financer la 407 a été proposé, mais a été vivement écarté comme étant « politically incorrect » ; remarquablement, c'est pourtant ce que plusieurs intervenants européens dans la salle trouvaient le plus logique !

2.13 Station choice model estimation and testing: Pete Mazurek, McLean, VA (USA). ■

Cette étude, menée pour la Puget Sound Regional Council (Seattle), visait à valider un modèle de choix de station d'accès au transport en commun (réseau d'autobus express avec 76 parcs d'incitation). Le modèle est basé sur les chaînes bimodales de déplacement (auto conducteur avec jonction au t.c.), et calcule les probabilités de choix (multinomial discret) pour chaque parc d'incitation, pour chaque paire O-D de déplacement brut. Il fait appel aux convolutions de matrices dans Emme/2.

L'étude a démontré la haute significativité de la variable « tarif » dans le modèle, en plus des temps auto et t.c. ; à remarquer que le stationnement est partout gratuit, seul le passage en autobus étant tarifé, généralement selon la longueur du déplacement et la municipalité d'origine. Le modèle a pu être calibré et donne des résultats valides, mais nécessite une enquête plus spécialisée auprès des clientèles des parcs d'incitation pour mieux déterminer la « valeur du temps » pour cette classe de navetteurs.

3. Ateliers de travail

Plus d'une demi-journée était consacrée à des ateliers de discussion alors que la firme INRO disposait aussi d'une période de présentation de ses développements. Les principaux points intéressants sont résumés ici :

3.1 Nouvelles de INRO

La firme INRO refuse d'annoncer la sortie de la version 9 du logiciel EMME/2. On a par contre pu avoir une idée des développements qui étaient en cours. On peut vraisemblablement s'attendre notamment à une interface-usager redéveloppée pour utiliser l'environnement Windows ou son équivalent (menus, boutons, objets cliquables). Le défi pour INRO consiste à continuer d'offrir simultanément le même produit sur les plateformes Windows aussi bien qu'UNIX.

INRO compte beaucoup sur InterNet pour le support aux usagers. Le courrier électronique [support@inro.ca] est devenu le moyen privilégié de communiquer avec eux et leur site Web

[<http://www.inro.ca>] est extrêmement riche (information et f.a.q., mises-à-jour, macros, documents techniques, communications scientifiques, repository FTP, etc.) :

La grande révolution est la publication du manuel Emme/2 sur CD-ROM (distribué gratuitement lors de la rencontre). INRO annonce que le manuel imprimé ne sera plus fourni automatiquement avec les licences, mais sera remplacé par le manuel électronique. Celui-ci est conçu en format « .pdf » pouvant être exploité avec le logiciel « Acrobat Reader » d'Adobe (freeware fourni sur le CD, en versions Windows et Unix). Le manuel devient beaucoup plus utile et facile à consulter, avec des liens hypertextes actifs un peu partout et des illustrations en couleur. Le CD-ROM est disponible à mon bureau et sera sous peu accessible sur tout le réseau local du Service.

INRO annonce aussi l'intégration dans son équipe d'une nouvelle ingénieure en transports qui sera spécialement responsable de la documentation technique.

3.2 Questions et Réponses

Migration DOS à Windows '95 : certains usagers signalent des difficultés dans leur migration (lenteur d'exécution, perte de résolution graphique, impossibilité d'utilisation en multi-sessions). Il semble bien que ces problèmes soient dus à une mauvaise configuration des appareils (machines trop faibles) et des paramètres de Windows (usagers trop faibles). En fait, Win '95 augmente les degrés de liberté de l'utilisateur et il devient plus difficile pour INRO d'encadrer toute l'installation du logiciel (ex. : pilotes de carte vidéo et d'imprimantes pris en charge par Windows, mais mal configurés par l'utilisateur).

LINUX vs UNIX : INRO envisageait de normaliser la version UNIX d'EMME/2, en utilisant LINUX sur les PC avec un émulateur X-Window, au lieu de compiler une version Windows '95 ou NT. Ceci sauverait beaucoup de travail à INRO, mais les usagers manifestent leur désaccord, compte tenu de l'emploi simultané de différents autres produits (GIS, bureautique) sous Win '95. L'idée est donc abandonnée.

Marché Chinois : INRO effectue présentement une grande percée sur le marché asiatique et travaille en partenariat avec des firmes chinoises pour bien s'installer là-bas. Une version chinoise d'Emme/2 est en développement (au niveau des affichages graphiques).

Interfaces géomatiques : INRO est en train de mettre au point, en collaboration avec ESRI, un protocole de conversion et d'échange de données entre EMME/2 et ArcInfo. Une fois la topologie arrêtée, des protocoles semblables pourront être développés pour d'autres SIG.

Congestion dans le transport collectif : La possibilité de modéliser la congestion dans les réseaux de t.c. est très demandée dans le marché asiatique. Il existe actuellement une approche heuristique qui fonctionne bien dans EMME/2 (voir communication de Heinz Spiess sur le site INRO-Suisse), mais rien ne garantit que ce soit la bonne façon de modéliser le phénomène. Des recherches sont en cours sur ce plan et les résultats pourraient faire partie de la version 9 d'Emme/2. On indique aussi qu'on pourra y utiliser des fonctions de vitesses sur les liens auxiliaires au t.c.

Arrondissement des résultats : Bien que ceci soit peu documenté, INRO signale qu'il est possible d'arrondir tous les résultats présentés par Emme/2 à la dizaine ou à la centaine en utilisant un nombre négatif pour spécifier le nombre de décimales affichées (paramètres des modules) ; ainsi, une valeur de -2 arrondit les résultats à la plus proche centaine. Ceci est un *truc extrêmement important* pour communiquer plus adéquatement nos résultats.

Macro MATREG : INRO rappelle l'existence de la macro « MATREG » pour effectuer des régressions linéaires multiples sur des données matricielles.

Numérotation automatique des nœuds : On souligne un inconvénient avec la numérotation automatique des nœuds ajoutés dans les scénarios. Cette numérotation étant indépendante d'un scénario à l'autre dans la même banque de données, il peut arriver des duplications qui faussent la comparaison automatique des scénarios. INRO rappelle que les scénarios sont effectivement des entités distinctes et que toute comparaison « nœud-à-nœud » doit être faite en toute connaissance de cause par l'utilisateur.

3.3 Atelier général

Communications : l'idée de créer un « Newsgroup » Emme/2 sur InterNet a maintes fois été proposée, mais n'a jamais abouti. Après discussion et examen de l'option « List Server », on choisit de créer plutôt un « UseNet group » public, sans modération active. À la demande des usagers, INRO accepte d'ajouter cette fonctionnalité à son propre serveur Internet et de voir comment se développera la situation. Au besoin on réajustera le tir l'an prochain. Beaucoup d'utilisateurs sont inquiets de la confidentialité des échanges et du risque de « junkmail ». INRO retient aussi l'idée d'émettre un court bulletin mensuel de nouvelles et de l'émettre par Fax automatique pour être sûr de rejoindre aussi les usagers qui n'ont pas encore InterNet.

Compendium des applications Emme/2 : à la demande des usagers, M. Terry Partridge accepte de coordonner la mise au point d'un compendium des méthodes et approches utilisées dans les différentes villes où Emme/2 est employé. Il s'agit de dresser, à partir d'une grille très simple, un inventaire des grands modèles régionaux et d'indiquer leur envergure et les types de sous-modèles retenus. INRO accepte d'héberger cette banque de données sur son serveur Web. L'idée d'une bibliothèque centrale des publications relatives aux modèles développés (banque de références bibliographiques) est aussi amenée ; INRO rappelle que son site Web accueille tous les textes (librairie électronique) que les usagers veulent bien y déposer. Certains usagers envisagent même la création éventuelle d'un manuel de pratique générale.

Macros : Les usagers négligent en général de diffuser ou de publiciser les macros qu'ils développent, sous prétexte qu'elles sont trop spécifiques à leur contexte local d'exploitation. Il apparaît toutefois qu'il serait souvent très utile de pouvoir s'inspirer de quelque chose qui a été fait ailleurs, sachant qu'une adaptation sera toujours nécessaire. Le site Web d'INRO accueille en ce sens toutes les macros (documentées) que les usagers veulent contribuer.

Prochaines conférences : L'an dernier, il avait été établi que la conférence de 1997 aurait lieu à San Francisco. Cette année, la candidature de Houston (Texas) a été acceptée pour la conférence de 1998. À noter que Houston, avec son modèle à 2700 zones, est actuellement la plus « grosse » installation d'Emme/2 au monde.

4. **Visites techniques**

4.1 Enquête Origine-Destination '96 de Toronto

M. Peter Dalton recevait les participants intéressés à visiter les installations de l'enquête O-D de 1996, en cours cet automne dans la région de Toronto. L'enquête est extensive et rejoindra 120.000 logis, à l'aide de jusqu'à 120 téléphonistes en parallèle, entre la mi-septembre et la mi-décembre. L'enquête s'exécute selon la même méthodologie et avec les mêmes outils que celle réalisée l'an dernier dans la région d'Ottawa-Hull, et à laquelle participait directement notre Service. Le prix de revient est estimé à 20 \$ par logis complété. L'enquête se déroule selon les plans prévus.

4.2 Autoroute « 407 »

Une présentation par M. John Klowak de l'Ontario Transportation Capital Corporation, suivie d'une visite technique sur le site, nous a permis de se familiariser avec plusieurs aspects de ce projet d'autoroute privée à péage électronique qui fait parler beaucoup de gens ces temps-ci. L'ouverture du tronçon central de la route (la moitié du projet) est prévue pour le premier décembre.

Parmi les points à signaler, mentionnons que c'est finalement le gouvernement qui a financé la construction, plutôt que le consortium privé ; compte tenu du risque, le secteur privé ne pouvait obtenir du financement à taux avantageux et en bout de ligne, le gouvernement devait offrir de toutes façons les garanties aux prêteurs.

Le système de portiques et transpondeurs semble fonctionner très bien et une intense campagne de promotion est en cours pour équiper la population. Les véhicules non équipés sont automatiquement filmés et des logiciels spécialisés font la reconnaissance automatique des immatriculations pour facturer les déplacements réalisés, avec un frais fixe supplémentaire. Des ententes sont en voie de réalisation avec les provinces et états voisins pour transmettre la facturation aux touristes, mais il semble qu'on insistera pas vraiment sur la collecte de ces sommes marginales. La tarification est différenciée selon 3 classes de véhicules (léger, camion simple, camion remorque) et 3 périodes de la journée (pointes, jour, nuit) ; le tarif de base selon la période est respectivement de 10¢, 7¢ et 4¢ au km et est multiplié par 2 et 3 pour les deux types de camion. Tous les capteurs (radars UHF et vidéos) sont reliés par fibre optique à la salle des ordinateurs du centre de contrôle, où deux systèmes parallèles (redondants) traitent les informations en temps réel.

La construction de l'autoroute a fait appel à des matériaux et technologies de fine pointe, dont le coulage en continu d'une chaussée de 3 voies de large en béton de ciment. Une importante économie d'échelle est obtenue en limitant à trois design types les ouvrages d'arts (ponceaux, viaducs et ponts ferroviaires), les plans autant que les procédés de construction étant réutilisés sur les 60 km du tracé. L'influence des concepteurs français (Monenco AGRA) se fait sentir notamment dans l'emploi de la terre armée pour les ouvrages de soutènement.

=====