

Christophe RIZET (Inrets, Dest)

Basile KEÏTA (B2K Consultants)

CHOIX LOGISTIQUES DES ENTREPRISES

ET CONSOMMATION D'ÉNERGIE

Améliorations à apporter à l'enquête ECHO

Rapport pour l'ADEME

Novembre 2002

CHOIX LOGISTIQUES DES ENTREPRISES ET CONSOMMATION D'ENERGIE

Améliorations à apporter à l'enquête ECHO

RESUME

Les enquêtes auprès des chargeurs décrivent les caractéristiques des envois, en particulier les différents trajets de la chaîne de transport et les caractéristiques des chargeurs qui émettent ces envois. Cette recherche vise à apprécier dans quelle mesure ces enquêtes permettent d'analyser l'influence de l'organisation logistique sur l'énergie consommée dans le transport de fret et quelles seraient les transformations souhaitables dans cet objectif.

En utilisant les données de deux enquêtes chargeurs tests, nous avons calculé l'énergie consommée par véhicule sur chaque trajet puis nous l'avons affecté à l'expédition observée, proportionnellement au poids de cette expédition dans l'ensemble du chargement. Cette énergie consommée pour un envoi est ensuite sommée sur les différents trajets de la chaîne de transport puis rapportée au tonnage kilométrique de l'envoi pour obtenir une consommation unitaire, en 'gramme d'équivalent pétrole par tonne kilomètre' (gep/tkm).

La base de données ainsi obtenue permet tout d'abord de calculer des consommations unitaires moyennes pour les principaux types de chaînes de transport (chaînes entièrement routières, ferroutage, chaînes maritimes ou aériennes avec parcours terminaux routiers) et d'autre part, de tester différentes hypothèses liant l'énergie consommée aux choix logistiques des entreprises, en croisant les consommations unitaires avec les variables caractéristiques de ces choix logistiques.

Les améliorations proposées pour adapter ces enquêtes à l'analyse de l'énergie consommée en transport de marchandises portent principalement sur la description des véhicules et des trajets ; elles visent en priorité la nouvelle enquête Echo qui lancée en France à la fin de 2002.

NOTE DE SYNTHÈSE

Les déterminants de la demande exprimée en véhicules x kilomètres ainsi que leurs conséquences en terme d'énergie et de nuisances sont méconnus, notamment pour les marchandises, alors qu'une intervention efficace en vue de réduire les incidences du transport de fret nécessite une connaissance approfondie des facteurs de décision des choix logistiques des entreprises.

Objectifs et méthode

Cette recherche teste les possibilités offertes par les enquêtes dites chargeurs pour analyser la dépense d'énergie en relation avec les choix logistiques des entreprises et à faire des suggestions d'amélioration avant le démarrage de la nouvelle enquête France entière fin 2002.

Une analyse bibliographique, complétée par la relecture d'entretiens récents auprès de responsables logistiques, a permis de cerner les grandes évolutions de la logistique et du transport de marchandises, et de formuler des hypothèses sur l'impact de ces tendances sur la consommation d'énergie ; une importante bibliographie commentée est annexée au rapport. Puis nous avons estimé l'énergie consommée par un échantillon d'envois de l'enquête chargeurs et nous croisons ensuite cette quantité d'énergie par envoi avec les caractéristiques de l'organisation logistique de l'établissement chargeur qui a émis cet envoi, pour tenter de quantifier l'influence des pratiques logistiques sur l'énergie consommée en transport de marchandise. Nous avons utilisé pour cela les résultats de deux enquêtes tests auprès de chargeurs réalisées en 1998 et 99.

Tendances logistiques et consommations d'énergie

L'analyse bibliographique a permis de faire un état des lieux des tendances de la logistique et du transport de marchandises susceptibles d'avoir un impact sur l'énergie consommée et de constituer une base documentaire. En plus de cette analyse, la relecture d'enquêtes récentes auprès de responsables logistiques de grandes entreprises, a permis d'identifier les principales pratiques logistiques des entreprises et de formuler une vingtaine d'hypothèses liant les comportements logistiques à la quantité d'énergie consommée pour le transport du fret. Ces hypothèses, construites indépendamment des données et informations qui permettront éventuellement de les tester, portent aussi bien sur des comportements déjà anciens et souvent mis en cause en matière de consommation d'énergie, comme les pratiques de juste à temps ou de massification des flux, que sur des tendances qui ont fait l'objet de moins de commentaires, comme le 'cross docking'.

Les données utilisées

Les enquêtes auprès des chargeurs, décrivent simultanément des envois, sous forme de chaînes de transport, ainsi que les principales caractéristiques des chargeurs qui émettent ces envois. En vue d'améliorer la méthode de ce type d'enquête, dont le renouvellement commence fin 2002, deux enquêtes tests ont été réalisées en 1998-99, chacune portant sur un peu plus de 200 établissements et de 600 expéditions. La première, a été réalisée en région Nord Pas de Calais et la seconde, dans le cadre d'un projet européen (Mystic), portait sur trois régions françaises (Rhône-Alpes, Alsace-Lorraine et Ile de France) et uniquement sur les chaînes de transport international. Ces enquêtes permettent de quantifier différentes facettes de la demande de transport (les envois) et de relier cette demande aux principales caractéristiques logistiques des établissements chargeurs ; elles n'ont pas été conçues pour traiter des consommations d'énergie mais elles permettent de connaître les conditions 'précises' du transport qu'il s'agisse des trajets empruntés, des opérations de consolidation et de prestations logistiques ou des types de véhicules utilisés ; elles nous ont donc permis d'estimer l'énergie consommée pour le transport de chaque envoi.

Méthode de calcul des consommations d'énergie par envoi

La méthode d'estimation de l'énergie dépensée pour le transport d'un envoi comprend quatre étapes :

- estimation des fonctions de consommation par type de véhicules, en litre de carburant au 100 km selon le poids total (poids à vide plus poids du chargement) ;
- calcul de l'énergie dépensée par le véhicule sur le trajet, en fonction de la distance et du poids total du véhicule. Pour les trajets routiers, nous avons pris en compte un taux de retour à vide estimé par type de véhicule et régime de transport d'après les résultats de l'enquête nationale sur les transports routiers de marchandises ;
- puis affectation à l'envoi d'une part de carburant proportionnelle à la part de son poids dans le poids de l'ensemble du chargement ;
- enfin les consommations d'un même envoi sont sommées sur les différents trajets qui composent la chaîne de transport.

En fait cette méthode n'a pu être appliquée que pour les trajets routiers ; pour les autres modes, qui sont faiblement représentés dans nos échantillons, nous n'avons pas pu mener ces estimations par faute d'information en particulier sur le poids du chargement. Pour l'aérien, nous avons estimé une consommation moyenne par tkm et, pour les autres modes, ces consommations moyennes par tkm selon le mode de transport, nous ont été fournies par l'ADEME.

Fonctions de consommations par type de véhicule

A partir des travaux publiés, nous avons analysé les consommations spécifiques à retenir par véhicule et surtout les différents types de véhicules à distinguer dans l'enquête ainsi que leurs principales caractéristiques qui ont une influence majeure sur leur consommation unitaire et les informations qui devront être recueillies dans l'enquête pour améliorer la prise en compte de la consommation d'énergie. Relativement peu de données sont disponibles sur les consommations d'énergie pour le transport de marchandises, à l'exception de la route. Nous avons utilisé en priorité les travaux du projet européen MEET qui fournit des méthodes d'estimation des consommations. Les émissions peuvent ensuite être estimées sur la base de l'énergie consommée, avec un facteur d'émission spécifique par type de polluant et de véhicule.

Les travaux publiés permettent d'estimer assez bien la consommation d'énergie pour la route mais beaucoup moins bien pour les autres modes (chemin de fer, voies navigables, maritime et aérien). Pour les exploitations des enquêtes test Mystic et Nord-Pas de Calais, une méthode simplifiée d'estimation de la consommation d'énergie par envoi a été appliquée en tenant compte des variables disponibles. Nous apportons quelques propositions pour améliorer la connaissance des consommations d'énergie par les véhicules autres que routiers au chapitre des améliorations à apporter à l'enquête.

Consommations unitaires moyennes, par trajet et par chaîne de transport

La consommation unitaire d'un envoi fait référence ici à l'énergie consommée pour le transport de cet envoi, en gramme d'équivalent pétrole, rapporté au tonnage kilométrique de cet envoi (gep/tkm). Pour les trajets routiers, ces consommations unitaires sont extrêmement variables : de 20 à plus de 100 000 gep/tkm ; c'est principalement le poids du chargement transporté par ce véhicule durant ce trajet qui explique cette dispersion des consommations unitaires.

Les consommations unitaires moyennes par type d'envoi sont calculées en pondérant la consommation d'un envoi par son tonnage kilométrique. Ces moyennes peuvent être calculées par chaîne de transport ou par trajet, avant sommation de l'énergie consommée sur les différents trajets. La variabilité constatée dans les consommations unitaires des trajets routiers entraîne une très

grande imprécision dans le calcul des consommations moyennes par type d'envoi. Pour les trajets sur les autres modes, nos données très simplificatrices ne montrent pas cette variabilité, bien qu'elle existe certainement dans la réalité.

Sur l'ensemble des trajets routiers, les consommations moyennes sont proches dans les deux enquêtes traitées (Mystic et NPDC), malgré des échantillons sensiblement différents : 34 à 36 gep/tkm en compte propre, 28 à 30 en compte d'autrui, soit 30 gep/tkm pour l'ensemble de la route.

Sur l'ensemble des chaînes de transport, du fait de la pondération, les parcours terminaux pèsent relativement peu dans la consommation unitaire : on retrouve des valeurs moyennes proches de 30 gep/tkm pour les chaînes entièrement routières et, pour les autres modes, des valeurs proches des consommations unitaires fournies par l'ADEME pour le mode principal : proches de 500 gep/tkm pour les chaînes aériennes, 13 pour le fluvial, 8 à 16 pour le ferroviaire (selon l'importance des trains complets), 10 à 12 pour le transport combiné fer route et 5 pour le maritime.

Les consommations unitaires sont rapportées au tonnage kilométrique, selon la distance parcourue par l'envoi sur les réseaux de transport. Nous les avons aussi rapporté au tonnage kilométrique à vol d'oiseau (gep/tkmVO) afin d'apprécier l'influence des détours que parcourent les envois, soit du fait des réseaux, soit pour être regroupés, en passant par exemple par une plate-forme, ce qui implique généralement un détour par rapport à l'origine et à la destination finale de l'envoi.

La comparaison entre les consommations unitaires selon ces deux types de distances (à vol d'oiseau et sur les réseaux), permet de rendre compte de la 'surconsommation' liée à l'allongement des distances, du fait des réseaux ou du fait de passer par un point de transbordement. Pour les chaînes routières, cette surconsommation unitaire s'élève à 29 % ; parmi les chaînes en compte d'autrui, on vérifie que cette surconsommation est plus importante pour les chaînes à trajets multiples (44 et 54 % respectivement pour NPDC et Mystic) que pour les chaînes à trajet unique (21 et 26 %).

Résultats des tests des hypothèses de l'influence des choix logistiques sur la consommation d'énergie

Les données de consommation unitaire moyenne d'énergie nous ont permis d'apprécier l'influence de quelques-unes des grandes tendances logistiques décrites précédemment sur l'énergie consommée en transport. Dans cette synthèse nous avons retenu deux tendances fortes, qui illustrent bien les possibilités de notre approche : le groupage des envois et la politique de Juste à Temps.

Pour apprécier l'influence du groupage des envois dans un même chargement (massification des flux), nous comparons d'abord la consommation unitaire moyenne des envois qui ont fait l'objet d'un groupage à celle des envois qui n'ont pas été groupés. En nous limitant aux envois routiers, plus homogènes, nous observons dans l'un et l'autre des échantillons, que les envois groupés consomment nettement plus que les envois non groupés. Ceci s'explique par le fait que les envois qui font l'objet d'un groupage ont un poids moyen très faible et, une fois regroupés, atteignent un poids de chargement qui reste inférieur au poids des envois qui ne font pas l'objet de groupage. Pour simuler l'influence du groupage sur les consommations unitaires de carburant, nous avons calculé d'une part ce qu'auraient consommé les envois que nous avons observés avec groupage, s'ils avaient été transportés seuls (sans changement de poids) et, d'autre part, l'allongement des distances qu'induit le groupage. Ainsi l'effet moyen du groupage sur les deux échantillons observés serait de diviser la consommation d'énergie par un facteur compris entre 3 et 4, qui résulte de la combinaison entre la réduction de consommation unitaire, liée à l'augmentation du poids du chargement et l'augmentation de consommation liée à l'allongement des distances. A l'opposé, nous avons pu mettre en évidence une influence favorable de l'organisation en livraisons directes sur la réduction de la consommation d'énergie.

Pour certaines pratiques logistiques, nous avons décelé des indices d'une influence sur la consommation d'énergie mais la faible précision des estimateurs, compte tenu de la taille des échantillons, ne permet pas de quantifier cette influence sur la consommation d'énergie ni même de l'affirmer. C'est le cas en particulier pour 'les communications par réseau informatique ou EDI', qui semblent liées à une consommation unitaire d'énergie plus importante, aussi bien les communications avec les transporteurs que celles avec les clients destinataires de l'envoi. C'est le cas aussi de la pratique de Juste A Temps (JAT) : pour approcher cette notion de JAT, nous avons retenu une question de l'enquête qui porte sur le délai de livraison demandé par le client. On constate d'une part que le poids moyen des envois est plus faible lorsque le délai est court et, d'autre part, que les consommations unitaires moyennes semblent suivre la même tendance : toutefois, la précision des estimateurs de consommations moyenne selon le délai de livraison est si faible qu'il n'est pas possible de conclure sur ce point.

Enfin pour d'autres tendances logistiques qui ont été décelées, les données n'ont pas permis d'en tester l'influence sur la consommation d'énergie ; c'est le cas par exemple de la concentration spatiale des entreprises, de l'intégration des activités logistiques dans l'entreprise, ou de la réduction des emballages.

Améliorations à introduire dans la nouvelle enquête Echo

Les précédentes enquêtes chargeurs suivaient les différents trajets de l'envoi, à l'exception des parcours ferroviaires mais elles n'avaient pas été conçues pour permettre d'analyser l'énergie consommée pour transporter les envois observés. Nous proposons quelques améliorations marginales, dans la nouvelle enquête, dans le but de permettre analyses des consommations d'énergie avec une meilleure précision. Nos recommandations portent d'une part les informations nécessaires à estimer l'énergie consommée, recueillies dans les questionnaires trajets, et d'autre part sur quelques caractéristiques de l'envoi ou de l'entreprise, explicatives des comportements logistiques.

Pour estimer la consommation d'énergie du véhicule sur un trajet, on propose d'introduire une description du véhicule et du trajet selon les caractéristiques qui ont une influence sur sa consommation d'énergie et ses émissions de polluants : charge utile, âge, type de carburant ou énergie, itinéraire privilégié (route – autoroute), tournées en ville, distances parcourues à vide avant et après le trajet considéré.

Pour affecter une part de cette consommation à l'envoi, l'information la plus sensible est le poids du chargement en cas de groupage. Cette information figurait déjà dans les enquêtes précédentes pour les trajets routiers mais elle était souvent non renseignée. On propose donc de l'étendre aux autres modes de transport et de veiller particulièrement à son bon remplissage et de demander aussi le taux de remplissage du véhicule en volume.

Enfin nous introduisons deux nouvelles variables dont il serait intéressant d'analyser l'impact sur la consommation d'énergie : le passage par une plate-forme logistique au niveau du trajet et, au niveau de l'établissement, la notion d'audit managérial (certification ISO 14001).

INTRODUCTION : OBJECTIFS ET METHODOLOGIE

Les déterminants de la demande exprimée en véhicules kilomètres commencent à être connus pour les voyageurs (motorisation, âge, localisation) ainsi que leurs conséquences en terme d'énergie et de nuisances (bilan énergie environnement déplacements) ; ces éléments sont beaucoup moins connus pour les marchandises, alors qu'une intervention efficace en vue de réduire les incidences du fret routier et aérien nécessite une connaissance approfondie des facteurs de décision des choix logistiques des entreprises. Cette méconnaissance tient à la complexité théorique du problème, au fait que les moyens qui y ont été consacrés sont nettement moins importants que pour les voyageurs, et à la faiblesse des données existantes. Sur ce dernier point des données disponibles, les enquêtes dites 'chargeurs' développées par l'Inrets, nous semblent offrir d'intéressantes possibilités, encore inexploitées.

Objectifs de la recherche

La présente recherche, financée par l'ADEME, se propose de tester les possibilités offertes par les enquêtes chargeur dans l'analyse de la dépense d'énergie liée au transport de marchandises, en relation avec les choix logistiques des entreprises. Une première analyse de l'influence de certains comportements logistiques des entreprises sur leur consommation énergétique pour le transport de leurs marchandises a donc été menée en utilisant les résultats des deux récentes enquêtes chargeurs tests. D'autre part, cette recherche vise aussi à améliorer la prise en compte des dépenses d'énergie dans la nouvelle enquête chargeurs, rebaptisée ECHO, avant son démarrage fin 2002, par des adaptations légères des questionnaires.

Méthodologie

La méthodologie s'articule autour des investigations suivantes : une analyse bibliographique et documentaire permet de cerner les grandes évolutions et problèmes sur les logistiques du transport de marchandises et la consommation d'énergie ; l'exploitation des entretiens auprès des directeurs logistiques de 28 grandes entreprises (distributeurs, industriels, prestataires logistiques) réalisés en 2001 par B2K Consultants pour le compte de l'ADEME et du Ministère de l'Équipement a permis d'analyser les tendances logistiques et de formuler des hypothèses sur l'impact de ces tendances sur la consommation d'énergie ; l'exploitation des enquêtes tests Nord-Pas-de-Calais (NPDC) et MYSTIC, réalisées auprès de chargeurs à partir de 1998 a permis de quantifier les consommations énergétiques unitaires (gramme équivalent pétrole par tonne kilomètre) et de tester les hypothèses.

La méthode de l'enquête auprès des chargeurs vise à appréhender l'ensemble de la chaîne de transport ainsi que les principales caractéristiques du chargeur afin d'être en mesure de relier l'un à l'autre. Une enquête nationale a été réalisée en 1988 et son renouvellement est prévu en 2003. En vue d'améliorer la méthode de la première enquête, deux enquêtes tests ont été réalisées en 1998-99, chacune portant sur un peu plus de 200 établissements et de 600 expéditions. La première, financée par le PREDIT, a été réalisée en région Nord Pas de Calais alors que la seconde, avec un financement européen (projet MYSTIC) portait sur trois régions françaises et, en collaboration avec le bureau néerlandais NEA, sur les Pays-Bas; elle visait les chaînes de transport international.

Les données de ces enquêtes permettent de quantifier les différentes facettes de la demande de transport et de relier cette demande aux principales caractéristiques des établissements et autres variables que nous pensons explicatives des comportements de transport. Ces enquêtes n'ont pas été conçues pour traiter des consommations de carburant mais elles permettent de connaître les

conditions 'précises' du transport qu'il s'agisse des trajets empruntés, des opérations de consolidation et de prestations logistiques ou des types de véhicules utilisés ; elles permettent donc d'estimer les consommations de carburant, moyennant l'introduction de consommations unitaires. C'est sur ces deux enquêtes test que nous tenterons pour la première fois, d'estimer les consommations d'énergie par envoi et de les croiser avec l'organisation logistique des entreprises.

Contenu du rapport

Le premier chapitre présente une analyse des pratiques et tendances logistiques des entreprises, chargeurs et opérateurs de transport, en liaison avec la question de l'énergie consommée. Ce travail a été mené d'une part à travers une analyse bibliographique (cf. bibliographie en annexe) et, d'autre part, en exploitant à nouveau dans cette optique, des entretiens récents auprès des responsables logistiques de 28 entreprises. Cette partie du rapport a permis de cerner les grandes tendances de la logistique des entreprises et aboutit à une série d'hypothèses sur les relations possibles entre comportement logistiques et consommation d'énergie, hypothèses que nous nous efforcerons ensuite de tester au moyen des données disponibles.

Le second chapitre récapitule les résultats de nombreux travaux de recherche qui portent sur la consommation d'énergie par mode de transport, selon quelques unes des caractéristiques du véhicule. Ces résultats seront utilisés dans la suite de ce rapport pour estimer les consommations par véhicule et par trajet.

Le troisième chapitre présente la base de donnée utilisée : les enquêtes chargeurs, qui décrivent un échantillon d'envois, les entreprises (chargeurs) qui les émettent ainsi que les étapes successives de leur transport. L'unité statistique utilisée ici est l'envoi. Ces fichiers ont été enrichis afin de permettre le calcul de l'énergie consommée pour le transport de chaque envoi.

Les principaux résultats de consommations énergétiques moyennes sont ensuite présentés de manière synthétique au chapitre 4: d'abord par trajets - consommations moyennes selon le mode de transport - puis par chaîne de transport.

Dans le chapitre 5, les hypothèses élaborées au chapitre 2 sont testées à l'aide de la base de données.

Enfin le chapitre 6 fait le point sur les améliorations à introduire dans la nouvelle enquête pour être en mesure de mieux appréhender les consommations d'énergie. La méthode proposée est simple mais demande l'introduction de nouvelles questions, pour permettre d'estimer avec une meilleure précision la consommation du véhicule emprunté, y compris les parcours à vide avant et après le trajet en charge et pour être en mesure d'affecter à l'envoi suivi une fraction seulement de l'énergie dépensée par le véhicule si d'autres marchandises étaient transportées simultanément.

1 LOGISTIQUE ET CONSOMMATION D'ENERGIE :

CONSTRUCTION DES HYPOTHESES

Ce chapitre traite de quelques évolutions majeures de la logistique et du transport de marchandises, susceptibles d'avoir un impact sur l'énergie consommée. Dans une première partie une revue de la littérature met en lumière les principales évolutions en matières de mobilité des marchandises ; dans la seconde partie, des enquêtes réalisées auprès de responsables logistiques de grandes entreprises permettent de formuler un certain nombre d'hypothèses sur l'influence des grandes évolutions logistiques sur l'énergie dépensée en transport de fret. Nous nous efforcerons ensuite (chapitre 5) de tester ces hypothèses au moyen des données de l'enquête chargeurs.

1.1 Evolution de la mobilité des marchandises : une approche bibliographique

Forte croissance de la mobilité des marchandises

La mobilité des marchandises est considérée comme un facteur important des déséquilibres environnementaux¹ observés à ce jour sur notre planète. Son taux de croissance, proche de celui du PIB², est désormais en contradiction avec la notion de développement durable³. Les tendances lourdes de la logistique de ces 20 dernières années génèrent une forte croissance de la mobilité des marchandises et tout particulièrement celle du transport routier, certes bon marché, souple, réactif et fiable mais dont efficacité énergétique et environnementale est médiocre, notamment par rapport au fer, au fluvial et au maritime.

La part du secteur routier dans les transports de marchandises en Europe (hors aérien et maritime) n'a cessé d'augmenter au cours de ces 30 dernières années au détriment du chemin de fer et de la voie d'eau comme le montre le Tableau 1.

Tableau 1 : Evolution de la répartition modale dans les pays de l'Union Européenne en % des tkm

	Route	Rail	Voie navigable	Pipelines	Cabotage (intra européen)
1970	30.8	21.1	7.7	5.1	35.3
1980	33.1	15.2	5.7	4.9	41.2
1990	40.7	11.1	4.7	3.3	40.2
1995	43.2	8.4	4.4	3.2	40.8
1997	43.4	8.6	4.3	3.1	40.6
1998	43.7	8.4	4.2	3.1	40.7
1999	44.5	8.0	4.1	3.0	40.4

Source : UE Energy and Transport in Figures 2001

La plupart des analyses prospectives annoncent l'intensification du transport de marchandises. Peter Eder⁴, qui reprend les conclusions du Programme européen sur le changement climatique, estime que si les tendances actuelles perdurent, le transport de marchandises devrait augmenter de 38 %

¹ D. DRON et M. COHEN DE LARA, pages n°7 à 48.

² INSEE "Comptes transport de la nation 1999" – page n°13 "PIB 99 : + 2,9 %" et page n° 30 "TM 99 : + 4,2 %".

³ ANTOINE S., BARRERE M. et VERBRUGGE G.– "La planète Terre entre nos mains" La documentation Française" 1994 – Chapitre n° 3 pages 29 à 38 " Le développement durable ou l'écodéveloppement : du concept à l'action".

⁴ Peter EDER "Intensification du transport de marchandises: son rôle dans l'agenda de la durabilité", traduit de l'anglais par BGS Spain- IPTS N°62 –JRC –Sévilee, mars 2002, page 22.

(soit une moyenne annuelle de 2,7 %) et les transports de passagers de 24 % (soit une moyenne de 1,8 %) d'ici 2010 ».

Dans sa présentation du Livre blanc en matière de politique commune des transports, le 18 juillet 2001, la Commissaire européenne⁵, Loyola de Palacio, disait ceci : « l'objet de ce document est de doter la communauté européenne d'un programme d'action visant à découpler progressivement la croissance des transports et la croissance économique. En effet, tiré par la croissance économique, le transport de marchandises devrait augmenter de 38% d'ici 2010 ». En tendance, dans ce même document, on estime que si aucune mesure d'envergure n'est prise dans l'Union des quinze pour utiliser plus rationnellement les avantages de chaque mode de transport, d'une part le seul trafic poids lourds augmenterait d'ici à 2010 de près de 50% par rapport à 1998, d'autre part les coûts externes de la congestion dus au seul trafic routier qui représentent 0,5% du Produit Intérieur Brut communautaire, atteindraient 1% en 2010.

En Allemagne, selon une étude prospective de l'Agence Fédérale Allemande de l'Environnement, en 1988⁶, la production du transport de marchandises pour longues distances, qui était de 306 milliards de tonnes*kilomètres, atteindraient 495 milliards tonnes*kilomètres en 2010, soit un taux de croissance annuel moyen de 2,4%. Le transport routier passerait alors de 118 à 257 milliards tonnes*kilomètres en 2010, et celle du rail de 125 à 135 milliards tonnes*kilomètres. Ces changements devraient entraîner des effets négatifs sur l'environnement.

En France, les travaux du SES mettent en évidence la croissance du transport de marchandises au profit majoritairement de la route. En reprenant les travaux effectués au sein du SES, on estime que sous l'hypothèse d'une croissance moyenne de la production industrielle de 2,2% / an entre 1992 et 2015, les transports de marchandises devraient progresser de 2,1% / an dans leur ensemble, avec une évolution toujours favorable à la route puisqu'elle augmenterait quant à elle de 2,6% / an sur cette période⁷.

Tableau 2 : Evolution des parts modales des transports interurbains de marchandises en France, en tkm

	1971	1992	2010
Routier	51%	75%	81%
Ferroviaire	41%	22%	17%
Fluvial	8%	3%	2%

Source : Girault, Puig, 1997

Dans l'optique de la consommation d'énergie par le secteur des transports, l'un des enjeux majeurs des années qui viennent sera de concilier le développement des transports routiers de marchandises (mais aériens aussi) avec une réduction de la consommation d'énergie.

Les principaux facteurs de croissance de la mobilité des marchandises

Parmi les facteurs qui contribuent à augmenter la mobilité des marchandises, tous modes confondus, le Rapport de la Conférence de Vancouver⁸ mentionne les pratiques de 'just-in-time', la dispersion et l'interdépendance des établissements de production (par ex. l'industrie automobile),

⁵ Commission Européenne « Note d'Orientation du Livre blanc sur l'avenir de la politique commune des transports », IP/01/1008, Bruxelles le 18 juillet 2001.

⁶ Verminderung der Luft-und Lärmbelastungen im Güterfernverkehr 2010, Berichte 5/94/Réduction de l'émission des polluants et du bruit causés par le transport de marchandises pour longues distances, horizon 2010, Agence Fédérale Allemande de l'Environnement, 456 pages

⁷ Girault M., Puig J.P. « Projections de la demande de transport à l'horizon 2015 » Note de synthèse du SES, n°109, janvier-février 1997

⁸ OCDE (96) : Conférence de Vancouver - vers des transports durables ; points saillants de la conférence et aperçu des enjeux 112 p.

l'évolution des goûts des consommateurs (fruits importés, hors saison), l'essor du tourisme et de sa logistique, l'évolution spatiale des habitudes d'achat et l'étalement urbain.

Les facteurs évoqués dans la littérature pour expliquer la croissance du transport routier sont à la fois du côté de l'offre routière et de la demande. Côté offre, les principaux facteurs jouant en faveur de la forte expansion du secteur routier de ces dernières années selon Maurice Bernadet⁹, sont les suivants :

la très forte croissance du réseau autoroutier a permis aux entreprises de transport routier de réduire leurs délais d'acheminement et d'améliorer leur fiabilité ;

la route s'adapte plus facilement que les autres modes au progrès technique du fait d'une rotation plus rapide du parc de véhicule ;

depuis toujours le mode routier possède des caractéristiques concurrentielles, avec un grand nombre d'entreprises de toutes tailles et plus ou moins spécialisées.

Côté demande, les profondes transformations du système de production distribution (réduction de stocks, just-in-time, fractionnement des lots, livraisons fréquentes, etc.) et l'évolution des produits transportés ont profité des caractéristiques de la route et ont ainsi joué en faveur de son développement. Au cours des dernières années, on a observé d'une part une forte baisse des matériaux pondéreux alors que le rail et la voie d'eau sont très efficaces pour leur transport ; et d'autre part une augmentation considérable des produits à haute valeur ajoutée et de faible densité. La route, qui était mieux placée pour ce dernier type de transport (flux diffus, rapidité, fiabilité, flexibilité, accessibilité, prix, réactivité, etc.), a donc su profiter de cette évolution structurelle de la demande.

Dans le cadre de la recherche REDEFINE, Frédéric LERAY et Philippe POUDEVIGNE ont analysé les liens entre l'activité économique et le transport de fret à l'horizon 2005¹⁰. Les pratiques logistiques des entreprises ayant des liens avec la croissance de la mobilité sont :

la restructuration des systèmes logistiques avec la tendance à la concentration spatiale dans tous les secteurs (réduction et/ou spécialisation des unités de production, réduction du nombre d'entrepôts, diminution du besoin de stockage, etc.) ;

la réorganisation des chaînes d'approvisionnement et de distribution (désintégration verticale du processus de production, réduction du nombre de fournisseurs avec développement du 'fournisseur unique', etc.) ;

la programmation de la production et des livraisons (le 'just-in-time', la 'réponse rapide à la demande', les livraisons avec prise de rendez-vous, etc.).

Parmi ces facteurs, selon les auteurs, **la concentration spatiale des usines et des entrepôts constitue l'une des causes majeures de la croissance des transports de marchandises** dans la mesure où elle affecte le nombre et la longueur des maillons de la chaîne de transport.

Les auteurs s'accordent en majorité aujourd'hui sur le fait que la **tendance à la croissance de la mobilité des transports de marchandises devrait se poursuivre** si on ne trouve pas de solutions adéquates pour la contrecarrer. Pour apporter une solution valable à la question de la croissance de la mobilité des marchandises, il est essentiel d'analyser d'abord les mécanismes amont qui déclenchent cette croissance. Il faut donc saisir l'opportunité qu'offre la logistique en tant que nouvelle méthode d'approche d'une part, en tant qu'instrument propre à créer de nouvelles façons de gérer la mobilité des marchandises d'autre part.

En conclusion, la croissance de la mobilité des marchandises découle, entre autres, de la conjonction de facteurs :

⁹ Maurice BERNADET « Le transport routier de marchandises –fonctionnement et ses dysfonctionnements, Editions Economica, Paris 1997

¹⁰ Frédéric LERAY, Philippe POUDEVIGNE "liens entre activité économique et transport de fret à l'horizon 2005, projections européennes", Note de synthèse du SES, juillet / août 2000

techniques, résultant de l'offre de transport qui n'a cessée de s'améliorer en termes de capacité, de fiabilité rapidité ou encore rentabilité et ceux au niveau du matériel, des infrastructures et des systèmes d'informations, rendant les déplacements de plus en plus faciles et accessibles ;
organisationnels, découlant de la demande issue des organisations logistiques des entreprises (chargeurs ou prestataires) et des choix de politique d'aménagement du territoire fait par l'Etat et les collectivités territoriales ;
économiques, du fait de la croissance des activités économiques et des échanges ;
politiques, issus de la libéralisation des marchés à l'échelle mondiale.

Consommation d'énergie dans le secteur des transports et dans les autres secteurs

En 1998¹¹, sur une consommation finale de 210 Millions de tonnes équivalent pétrole (tep), 96 sont utilisées par les ménages et le tertiaire (45,7%), 58 par l'industrie (27,6%), 52 par les transports (24,7%) et 3,5 par l'agriculture (2%). En vingt ans, entre 1975 et 1995, la consommation d'énergie par habitant et par an est passée de 3,6 à 4,1 tep ; la consommation est stable depuis plusieurs années.

L'ADEME a élaboré un guide méthodologique et un logiciel de calcul (IMPACT-ADEME)¹² qui permettent de mesurer notamment l'efficacité énergétique des différents modes routiers (deux-roues, autocars, bus, VP, VUL, PL) en rapportant les trafics aux consommations.

Tout mode de transport confondu, les marchandises représentent à peu près 40 % de la consommation énergétique totale des transports ; et cette consommation a tendance à s'aggraver d'une part en milieu urbain et d'autre part sur les grands axes d'échanges où le trafic de fret se concentre. En 1992, dans le bilan énergétique national des transports, la route représente 79%, l'aérien 9%, le maritime et le fluvial 7%, et le ferroviaire 5%¹³. Pour la consommation propre aux marchandises, le transport à longues distances (inter régional + interurbain + transit) représente environ 46 % du bilan énergétique, suivi du transport de marchandises en villes avec 38% et à l'intérieur des régions en zones non urbanisées avec environ 15%¹⁴. En matière de transport de marchandises, la consommation énergétique due au transport routier dépasse largement celle due au fret ferroviaire, au transport combiné, à la voie d'eau¹⁵.

En transport urbain, l'efficacité énergétique¹⁶ s'élève en 1994 à 94 grammes d'équivalent pétrole / tonnes*kilomètres (gep/tkm), contre 30 gep/tkm en transport interurbain. Cette faible efficacité reflète les médiocres conditions de circulation en zone urbaine. Dans le bilan environnemental du transport urbain, le transport routier constitue le poste le plus important avec 80 % de l'énergie soit 40 M tep partagées entre 23 M de tep pour la voiture particulière et 16 M de tep pour le transport de marchandises ; le reste, soit 1 M de tep, étant consommé par les deux roues et le transport en commun.

Selon le mode, pour 1997, les efficacités énergétiques d'un transport par train complet et celle d'un ensemble articulé étaient respectivement de 3 et de 17 gep/tkm. Entre les deux, se situe le transport

¹¹ R. Brunel « énergie » in Transport et Energie – Atlas de France, Volume 11 Coordination Scientifique par Laurent Chapelon, Edition Reclus – La documentation Française, 2000, P. 140

¹² - ADEME « Emissions de polluants et consommation liées à la circulation routière : paramètre déterminants et méthode de quantification », Janvier 1999, 112 pages ;

- ADEME « Emissions de polluants et consommation liées à la circulation routière : Logiciel IMPACT-ADEME, janvier 1999, 112 pages

¹³ ADEME « Transport – énergie - environnement : le défi », 1994, Page 5

¹⁴ ADEME –Christophe RIPERT « Transport / logistique de marchandises et environnement – Note de réflexion PREDIT –Proposition d'un Programme de Recherche Eco-logistique », du 02/11/00.

Voir aussi ADEME « Transport – énergie - environnement : le défi », op cité Page 5

¹⁵ ADEME « Transport – énergie - environnement : le défi », op cité Page 5

¹⁶ L'efficacité énergétique exprimée en Tonnes*kilomètre définit le nombre de kilomètres pouvant être parcouru par un véhicule consommant 1 « kilo équivalent pétrole » et transportant 1 tonne de marchandises.

combiné à raison de 5 gep/tkm. Le transport ferroviaire, principalement basé sur l'énergie électrique produite par la filière nucléaire, ne contribue que marginalement à la pollution atmosphérique. Les émissions du transport par voie d'eau se caractérisent essentiellement par une production d'oxyde d'azote et de soufre liée à l'usage de la traction diesel mais les trafics fluviaux sont insuffisants pour générer des nuisances significatives.

En matière de transport aérien, ce sont les nuisances sonores qui sont sources de conflit. Les émissions de polluants les plus surveillées sur les aéroports sont particulièrement les productions d'oxydes d'azote (Nox) qui, en haute altitude entraînent la destruction d'ozone atmosphérique.

Il existe très peu d'étude sur la consommation d'énergie et la pollution atmosphérique dans le secteur maritime. En matière de consommation d'énergie, on trouve quelques éléments dans une communication de la Commission Européenne au Commissariat Général au Plan (Rapport Boiteux) : la consommation d'énergie à la tonne*kilomètre est environ 6 fois moindre que le mode routier, 2 fois moindre que le mode ferroviaire¹⁷.

La logistique de transport des déchets et consommation d'énergie

Les travaux de Gérardin Conseil¹⁸ permettent d'établir un état de lieux de l'impact de la logistique de la collecte des déchets sur la consommation énergétique. Le transport de déchets représente un trafic estimé pour l'année 1998 à 23 414 millions de tonnes*kilomètres. La consommation d'énergie pour le transport des déchets est estimée à 655.000 tep, soit 5 % de la consommation d'énergie imputable au transport en France. La route compte pour 93 % dans ce total, alors qu'elle ne compte que pour 81 % des tonnes*kilomètres. La loi du 13 juillet 1992 impose que tout déchet passe par une phase de traitement. L'organisation linéaire collecte – transport – mise en décharge est remplacée par une organisation logistique collecte – centre de traitement d'où partent, d'une part des flux vers la récupération et le retour dans le circuit économique, et d'autre part des flux vers la mise en décharge. De plus, la collecte doit intégrer en amont un tri sélectif. Ce type d'organisation, selon les auteurs du Rapport, engendre certes une diminution des quantités de déchets mises en décharge, une diminution des flux de polluants lors du traitement, mais implique une organisation logistique plus complexe avec plus de ruptures de charges et un recours aux transports et à la manutention plus important. La dispersion des flux rend difficile le transfert modal de la route vers le fer et la voie d'eau ; il en résulte une augmentation des kilomètres et des tonnes*kilomètres liés à la phase de collecte, ainsi qu'aux autres parties de la chaîne logistique.

Les facteurs qui influencent la consommation d'énergie dans les transports

De plus en plus de recherches portent sur les facteurs qui influencent la consommation d'énergie, et notamment ceux qui permettent de la réduire.

Un Rapport du Commissariat Général du Plan de 1981¹⁹ analyse l'évolution passée des consommations des voitures et véhicules utilitaires. Il ressort que les consommations spécifiques des camions augmente de l'ordre de 3 % par an jusqu'en 1973 puis à un rythme à peine ralenti les années suivantes. L'augmentation du prix du pétrole incite aux économies d'énergie mais, pour les camions (qui sont équipés de moteurs de plus en plus puissants), cette incitation ne semble l'emporter qu'à partir de 1979 alors que pour les voitures et véhicules utilitaires à essence, cette évolution à la baisse des consommations spécifiques s'est produite dès 1974. De ce fait, la consommation de gazole progresse plus que le kilométrage total des véhicules diesel.

Selon des recherches réalisées par Brugge²⁰, les progrès technologiques peuvent baisser la consommation énergétique de 17%; mais c'est surtout une meilleure organisation du transport et de

¹⁷ Commissariat général du plan (Rapport Boiteux) « Transports : choix des investissements et coûts des nuisances » - La Documentation Française, juin 2001, 326 pages y compris Annexes.

¹⁸ ADEME & Gérardin Conseil sur « La logistique des déchets ménagers, agricoles et industriels – synthèse 1999 »

¹⁹ CGP (81) : Les facteurs de consommation d'énergie dans le transport routier ; Commissariat Général du Plan, 264 p.

²⁰ TER-Brugge-R (INRO-TNO 91) : Logistical developments in urban distribution and their impact on energy use and the environment. Freight transport and the environment, elsevier 1991. pp331-341 (6 Refs.)

la logistique qui est un instrument puissant de réduction de la consommation énergétique. Ainsi, l'amélioration du transport de marchandises en ville demandera une meilleure organisation logistique, des technologies d'information adéquate, de nouvelles techniques de transport et des mesures d'aménagement urbain.

La communication de A. Roth présentée à la troisième conférence de KFB²¹ analyse comment les objectifs environnementaux (CO₂ et NO_x) peuvent être atteints pour une filière (supply chain) de Corn-flakes qui se compose de 3 modes et 4 points de rupture dont le dernier est le détaillant. La construction des nouvelles chaînes se base sur des hypothèses portant sur les caractéristiques de ces détaillants (tailles et lieux de localisation) lesquels entraînent des nombreux déplacements pour les consommateurs mais aussi des solutions de transport différentes. Il ressort que plus de corn flakes sont transportés par camion que par le système rail combi entre les entrepôts et les terminaux de distribution. Il apparaît aussi que c'est une meilleure efficacité de la chaîne logistique qui pourrait donner des réductions substantielles.

Une recherche danoise²² a élaboré le scénario de 'Green Logistics' qui constitue une tendance d'évolution des transports de marchandises. Le rapport fait un inventaire des possibilités de réduction de consommation énergétique des transports routiers de marchandises à travers une réorganisation des organisations logistiques d'ici à 2015. Les principales conclusions sont les suivantes: (1) l'organisation de transport utilisant de gros camions avec un chargement optimal pourrait réduire significativement le nombre de déplacements et de kilomètres parcourus ; ce qui entraînerait une économie de consommation énergétique d'environ 25%; (2) une organisation efficace des retours à vides pourrait entraîner une réduction de la consommation énergétique de plus de 4% du total de l'énergie consommée dans le secteur de transport ; et (3) il sera nécessaire de centraliser l'information sur la demande et l'offre de transport pour atteindre les objectifs de réductions de consommation d'énergie.

1.2 Enseignements des enquêtes B2K : formulation des hypothèses

Des enquêtes par entretien auprès de grandes entreprises (industriels, distributeurs et prestataires logistiques) ont été réalisées par B2K Consultants courant 2001 dans le cadre de l'étude sur « les évolutions logistiques et les politiques publiques » pour l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) et la Direction de la recherche et des affaires scientifiques et technologiques du Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement. L'exploitation de ces enquêtes, effectuées dans l'optique de l'influence des choix d'organisation logistique sur la consommation énergétique, a permis de repérer les principales tendances de la logistique des entreprises susceptibles d'avoir une influence sur la consommation d'énergie et d'élaborer des hypothèses sur l'influence des choix logistiques sur la consommation d'énergie. Parmi les pratiques logistiques fondamentales, celles qui sont susceptibles d'avoir une influence sur la consommation d'énergie nous ont permis de formuler des hypothèses sur l'influence des choix logistiques sur la consommation d'énergie ; nous nous efforcerons ensuite de tester ces hypothèses, en croisant, dans les données de l'enquête chargeur, la variable de consommation d'énergie avec les variables caractéristiques des comportements ou pratiques logistiques.

Les pratiques logistiques fondamentales des entreprises repérées sont les suivantes :

- la centralisation, la massification des flux de trafics de marchandises ;
- la polarisation des infrastructures logistiques (entrepôts et les plates-formes);
- l'externalisation des activités logistiques ;

²¹ A.Roth (00) : Reaching long term environmental goals in a food supply chain ; proceedings of the 3rd KFB research conference Stockholm, 06/2000, 13 p. published by Vinnova- the Swedish Agency for innovation systems.

²² VAN-DER-VLIST-MJM, RUIJGROK-CJ (INRO-TNO 93) : Trend breach scenario for freight transport. The green logistics scenario (Trendbreukscenario goederenvervoer. Het groene logistiek scenario.) IV+48P (6 Refs.), INSTITUUT VOOR RUIMTELIJKE ORGANISATIE INRO-TNO, P O BOX 6041, DELFT, 2600 JA, NETHERLANDS

- l'intégration des activités logistiques ;
- le développement des approches par supply Chain et le recours aux outils et techniques de collaboration entre entreprises ;
- le développement des logistiques de livraisons directes aux clients ;
- le développement des logistiques inversées (*reverse logistics*) ;
- le cross-docking ;
- l'utilisation accrue du transport routier par rapport aux autres modes;
- la réduction des emballages ;
- l'audit environnemental des entreprises (norme ISO 14001, eco-audit, etc.).

Les pratiques logistiques fondamentales ainsi repérées sont celles que les entreprises combinent pour bâtir leurs choix d'organisation logistique. Ces pratiques sont analysées une à une, ci-après, afin de formuler les hypothèses à tester, sur l'influence qu'elles ont sur la consommation d'énergie via les transports.

1.2.1 INFLUENCE DE LA CONCENTRATION ET DE LA GLOBALISATION DES ENTREPRISES SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE

Pratiques actuelles

Les grandes entreprises industrielles ou commerciales mettent en œuvre des stratégies d'intégration verticales ou horizontales afin de devenir des acteurs globaux sur un marché et d'acquérir une position dominante.

Les cinq premières entreprises de la grande distribution en France totalisent plus de 67 % des ventes en 1997 contre près de 59 % en 1992. Ce mouvement s'est accru en 1999 avec la fusion entre Carrefour et Promodès ; ce qui place ce nouveau groupe en tête avec 23,3 % des parts de marché français²³. Carrefour est désormais en 2ème position mondiale en chiffre d'affaires derrière Wal-Mart (USA).

L'industrie automobile poursuit son mouvement de concentration. En 1999, pour ce qui est de l'industrie européenne du poids lourds, les six groupes majeurs de taille mondiale (Volvo-RVI, Mercedes, Scania, Iveco, Man, Daf) représentaient 83,8 % de part de marché, contre 66,6 % un an auparavant. Huit groupes représentent aujourd'hui 93 % de la production mondiale²⁴. En 2000, la fusion de Volvo et de Renault VI-Mack a permis de constituer le premier constructeur européen de poids lourds et le troisième fabricant mondial d'engins diesel. Le paysage européen s'est donc profondément modifié en 30 ans, puisque nous sommes passés de 24 à 6 groupes entre 1970 et 2000.

« Renault VI est un constructeur essentiellement européen, MACK un constructeur américain, et Volvo un constructeur à la fois européen et américain. Dans tous les cas, nous cherchons à être mondial, avec une triple implantations : zone Europe, Zone Nord Amérique et zone Sud-Est Asiatique. Ceci pose des problèmes logistiques énormes. » (Renault VI / Mack).

Ce mouvement de concentration et de globalisation des entreprises s'est accompagné de la restructuration des systèmes de production distribution, des organisations logistiques rendus possibles grâce notamment aux progrès récents de l'informatique et des télécommunications. Ce

²³ Claude FIORE « Supply Chain en action » Editions les Echos, 2001.

²⁴ CNT «Faits et tendances économiques – 1999-2000, Rapport économique », Rapport présenté par Patrice Salini, Novembre 2000

mouvement de concentration se traduit par la réduction de nombre d'unités de production et d'entrepôts, des besoins de stockage et par le développement des livraisons en 'juste à temps'.

Hypothèse 1

La concentration spatiale des entreprises entraîne une croissance des transports de marchandises dans la mesure où elle affecte le nombre et la longueur des maillons de la chaîne de transport, et donc une augmentation de la consommation d'énergie.

1.2.2. INFLUENCE DE LA CENTRALISATION DES FLUX DE TRAFICS DE MARCHANDISES ET DE LA POLARISATION LOGISTIQUE SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE

Pratiques actuelles

Les choix logistiques des entreprises ont évolué. Jusqu'au début des années 1980, dans le secteur de la grande distribution, ce sont les fournisseurs qui venaient livrer directement les supermarchés et magasins de la plupart des distributeurs (livraisons franco). Mais aujourd'hui, grâce au progrès de l'informatique, au développement des plates-formes logistiques et du fait de la dispersion des fournisseurs à travers le monde, les pratiques sont à la centralisation (ou groupage) des flux pour les approvisionnements et livraisons. Les entreprises centralisent leurs commandes sur des plates-formes logistiques pour les massifier, puis effectuent les livraisons des supermarchés et magasins avec des charges complètes dans de gros camions. Ces pratiques de centralisation avec passage par plate-forme permettent de massifier les flux (d'où une réduction des coûts de 5 à 20%) ou de réduire des passages aux magasins (d'où une meilleure maîtrise des temps d'attente).

Dans la grande distribution, les livraisons directes fournisseurs magasins ont donc tendance à disparaître. Aujourd'hui environ 80% des volumes ne gagnent pas directement le magasin mais passe par une plate-forme logistique. Ces pratiques logistiques sont observées chez les distributeurs (Galeries Lafayette, Carrefour, Coop Suisse, Habitat, etc.).

« HABITAT dispose d'une plate-forme centrale à Cergy dans la banlieue parisienne. Cette plate-forme alimente tous les magasins Habitat de France mais aussi ceux d'Espagne. La plate-forme de Cergy s'approvisionne aux quatre coins du monde. Tout est directement acheminé par bateau sur Cergy via les ports français ou anglais. Du port jusqu'à Cergy, nous utilisons le rail. Depuis Cergy, nos caisses arrivent par rail jusqu'à la plate forme de la région lyonnaise. Ensuite...notre prestataire local se charge d'acheminer la marchandise jusqu'à notre magasin. La plate forme lyonnaise est située dans la périphérie ouest de la ville » (Entretien Habitat).

« Le magasin est un lieu logistique de très grande complexité par ce qu'il faut faire entrer 70 000 références dans un hypermarché tous les jours sur des fréquences très courtes. La solution que nous avons trouvée, c'est de faire transiter ces produits au départ des plates-formes régionale pour qu'ensuite un magasin soit livré par camions complets et avec 1 000 à 1 500 références de l'ensemble de nos fournisseurs » (Carrefour).

On observe les mêmes pratiques de centralisation des flux chez les industriels au niveau des entrepôts centraux à partir desquels une distribution éclatée est effectuée. C'est ainsi que IBM regroupe ses flux de produits dans un entrepôt central basé à Amsterdam qui irrigue tous les autres entrepôts et clients européens. Renault VI-Mack, qui avait plusieurs magasins ou entrepôts de pièces détachées n'a plus qu'un magasin central.

« Il y a deux types de flux : les flux des machines complètes qui vont des usines et qui arrivent jusqu'à chez nos clients ; les flux des pièces détachées pour la maintenance avec une organisation logistique parallèle. Les flux sont structurés depuis un entrepôt central pour l'Europe que nous

avons à Amsterdam et qui irrigue tous les autres entrepôts que nous avons en Europe ; mais en ce qui concerne la France c'est Géodis qui est chargé de l'entreposage et du ré-acheminement vers nos clients et vers les endroits où il faut apporter la pièce pour la réparation.

Nos produits IBM viennent de nos usines européennes qui sont situées en Ecosse, à Dublin, à Montpellier. Le transport se fait depuis ces usines vers nos clients. Il y a aussi le transport inter usines, donc on va apporter des pièces d'une usine à l'autre ; et enfin, il y a des flux intercontinentaux, des usines qu'on a aux EU ou en Asie du Sud-Est vers l'Europe et réciproquement, vers le Japon, etc. Par exemple, le flux des EU vers l'Europe passe par Dublin ou Montpellier ou Amsterdam avant d'atteindre le client. Amsterdam est un lieu de groupage principalement» (IBM).

« Nous avons 2 usines d'assemblage de véhicules en France (à Bourg-en-Bresse, une à Blainville (prêt de Caen) ; 1 usine d'assemblage en Espagne ; 2 usines d'assemblage en Suède et 4 usines d'assemblage en Amérique du Nord. Nous avons aussi des usines de réalisation d'organes. Renault VI a 1 usine de moteur (Lyon), 1 usine d'essieux et pont (Lyon) et une usine de cabines (Blainville). En Suède, Volvo a 1 usine de moteur, 1 usine de boîte de vitesse et 1 usine cabines. Tous les autres éléments des voitures sont achetés à des fournisseurs. 70 % de la valeur d'un camion est donc acheté, partout à travers le monde. Pour chaque organe, on a au moins deux fournisseurs et ça se passe au niveau mondial. Ceci pose des problèmes logistiques énormes » (Renault VI/Mack).

« Les pièces détachées, c'est concentré. On avait plusieurs magasins de pièces détachées ; actuellement il n'y en a plus qu'un seul. Il est plus simple d'avoir un magasin central qui va livrer une seule fois une concession » (Renault VI/Mack).

En matière de choix d'implantation de leurs infrastructures logistiques (entrepôts, plates-formes, etc.), les entreprises (distributeurs comme industriels) considèrent généralement deux niveaux : la proximité géographique des zones de productions ou de consommation (marchés) et la proximité organisationnelle (offre de prestations commerciales, financières, administrative et technique). Trois principaux critères de choix de localisation des infrastructures logistiques sont considérés :

- le marché : le site est situé à proximité des marchés les plus importants de l'entreprise ;
- l'accessibilité : le site est facilement accessible et bien connecté à plusieurs modes de transport ;
- les services : il existe à proximité du site une offre de prestations commerciales, financières, administratives et techniques.

C'est ainsi qu'on observe une polarisation des sites logistiques dans la région parisienne, à Orléans, dans la région lyonnaise, etc. qui sont autant de zones dédiées aux activités logistiques en France. Au niveau de l'Europe, on retrouve cette polarisation logistique de manière privilégiée au Nord, autour des grands ports maritimes entre Hambourg et le Havre. Ce processus de concentration spatiale des activités logistiques profite aux très grandes villes avec pour double conséquence d'augmenter les trafics sur les axes qui relient ces sites entre eux au risque de les saturer et d'engendrer la congestion des régions logistiques terminales qui attirent ces flux.

« Il faut être très vigilant aux effets pervers de la concentration des activités logistiques sur une zone. On est allé vers une concentration, vers des entrepôts de plus en plus grands où l'individu ne se retrouvait plus vraiment. Donc moi j'ai plutôt tendance aujourd'hui à concevoir des logistiques à taille humaine. J'ai tendance à régionaliser les entrepôts moyens et plutôt dilués dans un espace industriel qui n'est pas exclusivement réservé aux activités logistiques. Mais en revanche, en disant cela, l'axe de travail c'est vraiment en friche, c'est de réfléchir au réseau des industriels et aux nôtres pour éviter d'avoir des doublons » (Carrefour).

« Quand vous concevez une organisation logistique ; il y a deux façons de faire : soit vous

travaillez en flux poussés, soit vous travaillez en flux tirés. Quand vous travaillez en flux tirés, il faut consolider les flux à priori au départ. Quand vous travaillez en flux poussés, vous envoyez des unités complètes, des camions complets, vers un lieu de stockage proche du lieu de consommation. Donc pour moi, il ne faut pas mettre des plates-formes entre les deux car elles ne serviront à rien. Soit vous les mettez prêt des grandes zones de production, de nos fournisseurs, là où nos fournisseurs sont massivement installés (par exemple, vallée de la Seine), soit vous les mettez à côté des utilisateurs » (Renault VI/MACK).

Hypothèse 2

La centralisation ou la massification des flux sur des plates-formes logistiques entraîne une diminution de la consommation d'énergie du fait de la réduction du nombre de poids lourds en circulation.

Hypothèse 3

La centralisation ou massification des flux offre des possibilités d'utilisation du rail et des transports combinés (rail-route, mer-rail, mer-route, air-route, fleuve-route) qui sont des modes plus économes en consommation d'énergie par rapport au tout route.

Hypothèse 4

La polarisation des sites logistiques et la massification - centralisation conduisent à une concentration des flux de marchandises sur certains axes et sites logistiques et entraînent la saturation et la congestion de ces axes et régions logistiques, ce qui a pour effet une augmentation de la consommation énergétique.

1.2.3 INFLUENCE DE L'EXTERNALISATION DES ACTIVITES LOGISTIQUES SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE

Pratiques actuelles

L'externalisation des activités logistiques est une tendance déjà bien connue des évolutions logistiques et qui s'observe aussi bien chez les industriels que chez les distributeurs. On peut indiquer ici trois pratiques caractéristiques:

En premier lieu, les industriels (IBM) et les distributeurs (Carrefour, Auchan, etc.) externalisent tout ou partie de leurs activités logistiques auprès de grands prestataires logistiques (Géodis, Hays, etc.); ceux-ci ont tendance à sous-traiter à leur tour les opérations de pur transport à de plus petits transporteurs. Les prestataires logistiques exercent sur ces derniers une forte pression au niveau des prix et des délais de livraison. N'étant pas en mesure de négocier favorablement avec les grands prestataires logistiques, ces petits transporteurs sont alors conduits à adopter des pratiques illégales afin de répondre aux exigences de qualité de service exigé: non respect de la durée de conduite et des heures de travail, non respect de la vitesse ou du poids total autorisé des véhicules, prolongation de la durée d'exploitation des véhicules.

Pour respecter les délais d'acheminement des produits, les transporteurs des prestataires logistiques ou des fournisseurs font les trajets de nuit. Ici, le trafic poids lourds se mélange moins avec le transport de voyageurs, il y a un gain de temps mais beaucoup de nuisances sonores.

« Alors c'est vrai que le transport, moi je le sous-traite. Je dis c'est à prendre à tel endroit et à vous de vous arranger pour faire dans la nuit. Premièrement il vient chercher les marchandises

« dans nos centres et il les amène dans des plates-formes qui ne sont pas loin du point de départ. Ensuite ça ne va pas directement au magasin, les marchandises arrivent sur une autre plate-forme d'arrivée régionale ; et c'est à partir de là qu'il va irriguer dans toute la région et donc approvisionner notre magasin » » (Entretien Galeries Lafayette).

Deuxièmement, les politiques d'externalisation des entreprises chargeurs ont été l'occasion pour les prestataires des services logistiques et de transport de réaliser des prestations à valeur ajoutée, en plus des activités logistiques classiques (entreposage et transport) ; il s'agit du co-packing touchant à l'emballage des produits (constitution de lots, opérations promotionnelles, étiquetage, remplissage de box et de présentoirs) ou du co-manufacturing (conditionnement du produit ou retraitement du produit lui-même pour adapter le produit au marché final, etc.), etc.

Enfin, dans les usines, il y a des flux logistiques internes : approvisionnement de la chaîne en pièces, réception, chargement à la sortie de la production, etc. L'usine se concentre sur la production ; et les activités logistiques sont réalisées par un prestataire logistique qui travaille dans l'usine. Ces pratiques sont répandues chez les industriels : C'est l'exemple de Thompson qui sous-traite à Géodis sa logistique interne dans l'usine. Dans le Nord-Pas-de-Calais (à Douai) c'est aussi l'exemple des sous-traitants Renault qui se sont installés dans le Hall à 50 m de la chaîne de montage de Renault.

L'entreprise exemplaire est la Ricaro, qui fournit des sièges pour l'industrie automobile Mercedes Benz. Elle s'est également installée à quelques mètres de l'usine Mercedes. On n'est donc plus dans les pratiques de 'flux tendus' ou de 'just-in-time'.

« On a mis en place, des sites avancés fournisseurs ; ça veut dire, en fait, que pour « volumiser » au plus tard, on a mis en place dans nos usines et mis à disposition, loué, etc. des surfaces qu'on a affectées à nos fournisseurs pour qu'ils « volumisent » de fait. Je prends l'exemple de sièges, si vous transportez un siège de camion, prêt à être monté, si vous le transportez en 3 morceaux, vous avez la possibilité de diviser le volume transporté par 3. Donc en fait on a mis des ateliers, des sites avancés ou des magasins avancés pour limiter les volumes à transporter; ça fait deux ans que l'on travaille sur ce genre de sujet » (Renault VI/Mack).

Inversement, la tendance est aussi aux pratiques des 'just-in-time', ce qui est défavorable à une forte occupation moyenne de la capacité des véhicules, le véhicules partant même s'il n'est pas plein.

Hypothèse 5

Lorsque le transport de fret est confié à un prestataire logistique (externalisation des activités logistiques), les trajets sont effectués de nuit sur des routes plus dégagées, ce qui pourrait avoir des effets positifs sur la consommation d'énergie.

Hypothèse 6

La réalisation des activités logistiques par des prestataires logistiques dans ou à côté des usines entraîne une économie d'énergie suite à une réduction du transport entre l'entrepôt fournisseur et la chaîne de montage de l'industriel.

1.2.4. INFLUENCE DE L'INTEGRATION DES ACTIVITES LOGISTIQUES AVEC LE RECOURS AU « JUST-IN-TIME » SUR LA CONSOMMATION ENERGETIQUE

Pratiques actuelles

Dans notre échantillon, il y a des entreprises qui intègrent complètement les services logistiques dans leur système de production. Il s'agit ici principalement des constructeurs automobiles (PSA Peugeot Citroën, Renault VI/MACK, etc.) étant donnée l'importance de la logistique amont (approvisionnement des chaîne de montage). Dans l'industrie automobile pour laquelle la logistique constitue une activité centrale, c'est le recours aux pratiques du *just-in-time* dans la fabrication des véhicules. Le *just-in-time* impose un réglage permanent des flux de matières premières pour l'approvisionnement des usines de montage.

« *La logistique est partie intégrante du processus de production. Pour nous en tant que constructeurs d'automobiles, la logistique est un maillon de la chaîne qui doit suivre. C'est GEFCO qui fait l'essentiel de notre logistique ; et il fait parti du groupe PSA. Pour l'approvisionnement de nos usines, il est clair que le paramètre c'est la fiabilité. Donc il y un système de Juste à Temps* » (PSA Peugeot Citroën).

« *On ne va pas remettre en cause le Juste à Temps dans la fabrication des véhicules ; par contre on peut un peu l'adapter, on peut faire des petits stocks qui permettent, parfois, en situation, de pousser des flux plutôt que de les tirer pour améliorer le taux de remplissage d'un véhicule* » (Renault VI / MACK ?).

« *Nous avons mis en place un réseau spécial pour l'approvisionnement qui permet de faire transporter les matières premières à partir de nos fournisseurs. Le système de transport est basé sur le principe de livraison just-in-time. Nous avons également des matières premières qui viennent d'outre-mer, surtout les moteurs qui proviennent des Etats Unis d'Amérique* » (Opel).

Hypothèse 7

L'intégration des activités logistiques dans l'entreprise entraîne une augmentation de la consommation d'énergie du fait de la multiplication des transports liée aux pratiques de la production en 'Juste à temps'.

Hypothèse 8

L'intégration des activités logistiques dans l'entreprise est une condition nécessaire au 'Juste à temps' mais non suffisante.

Hypothèse 9

Les pratiques de 'Juste à temps' multiplient les transports, c'est à dire des envois plus petits et plus fréquents, ce qui entraîne une augmentation de la consommation d'énergie.

1.2.5. INFLUENCE DU RECOURS AUX OUTILS ET TECHNIQUES DE COLLABORATION LOGISTIQUE (ELECTRONIC DATA INTERCHANGE (EDI), TRACKING & TRACING, MARKETPLACE, RESEAU INFORMATIQUE, ETC.) SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE.

Pratiques actuelles

Dans le domaine du management des entreprises, le concept de *Supply Chain* est relativement récent. Grâce aux approches par *Supply Chain* l'arbitrage entre service clients et rentabilité, considéré jusqu'à jadis comme un dilemme, peut aujourd'hui être levé du fait des potentialités des progiciels de gestion intégrée. Livrer le bon produit, au bon moment, au bon endroit, et au bon prix

est actuellement cette approche de 'magasins chain' qui s'impose de plus en plus à la fois dans la grande distribution (Carrefour, Coop Suisse, etc.), dans les activités industrielles (Renault VI-Mack) et dans la prestation des services logistiques (Géodis, etc.).

« Il est évident que le travail que l'on a à faire en Supply Chain, c'est de pouvoir, à l'intérieur de l'ensemble de cette chaîne de valeur, trouver un certain nombre de projets qui vont permettre soit d'améliorer l'efficacité et le service, soit de réduire nos coûts. Donc on a réellement une approche, non pas de coûts opérationnels, mais bien de chaîne de la valeur au bénéfice des magasins et donc des consommateurs » (Carrefour).

Les approches par Supply Chain et l'utilisation simultanée d'outils informatiques, de technologies de communications ont entraîné un fort développement des collaborations logistiques entre entreprises. Alors que la communication consiste en un échange et/ou partage d'informations, la gestion collaborative de la Supply Chain est un processus de décision en boucle fermée impliquant un consensus de multiples partenaires commerciaux selon des règles établies.

« On est très orienté vers des collaborations avec nos fournisseurs et nos prestataires. Puisque l'objectif est, au niveau du service magasin, de sécuriser notre chaîne d'approvisionnement, on va s'engager vers toute une série de plans de collaboration avec nos principaux fournisseurs et donc on va mettre en commun ou utiliser en tout cas des outils de système d'information qui vont nous permettre de sécuriser nos opérations. » (Carrefour).

Les principaux axes de collaboration entre acteurs (consommateurs, industriels, distributeurs, prestataires, etc.) sont : l'échanges de données informatisées (EDI), la Gestion Partagée des Approvisionnements (GPA), le Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR), les « tracing » et « tracking », le Marketplace, etc. Le développement des logistiques « collaboratives » entre les entreprises vise surtout à sécuriser les approvisionnements des supermarchés et magasins (distributeurs) ou les chaînes de production (industriels) à l'aide de prévisions fiables qui permettent d'éviter des ruptures importantes, de maîtriser les niveaux des stocks et de réduire globalement les coûts.

En France, dans la grande distribution, la pratique de la GPA est devenue très courante ; elle représente 40 voire 50% du chiffre d'affaires de certains distributeurs. Chez Carrefour, 60 % du volume des produits de grande consommation sont traités aujourd'hui en GPA, et cette pratique concerne 60 fournisseurs les plus importants.

Dans l'industrie automobile, on observe de nouvelles formes de collaborations entre les fournisseurs (sous-traitants) et les assembleurs, dans le cadre des approches par la Supply Chain. Ces collaborations logistiques ont été à l'origine des nouveaux types de partenariats sous l'égide du « magasins » (livraisons synchrones, proximité géographique voire intégration dans une même zone industrielle ou même usine).

Hypothèse 10

Le recours aux outils et techniques de collaboration logistique permet une réduction de la consommation d'énergie du fait d'une diminution du nombre de véhicules en circulation et des véhicules*kilomètres grâce à des prévisions fiables et à l'optimisation du système de transport (minimisation des parcours à vide, optimisation de la charge transportée, regroupement des livraisons, partage des chargements, collecte ou livraison des marchandises avec d'autres entreprises, etc.).

1.2.6. INFLUENCE DES LOGISTIQUES DE LIVRAISONS DIRECTES AUX CLIENTS SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE

Pratiques actuelles

La massification (groupage) des flux et le passage par des plates-formes (cf. point A) sont la pratique logistique dominante actuellement. Demain, la production sera peut-être plus à la demande pour limiter les stocks et personnaliser les produits, et la distribution portera sur des envois plus morcelés et plus fréquents.

La tendance nouvelle de la production industrielle est donc de diminuer les besoins de stockage fondé sur le principe de « B to O » (Built to Orders – construit en fonction des commandes reçues). Il s'agit d'un système dans lequel, ce sont les commandes reçues qui génèrent les ordres de production et de livraison. Les usines ne produisent que ce qu'elles ont vendu, ce qui leur permet de tendre vers le stock zéro, et d'anticiper facilement les tendances du marché. A titre d'exemple on peut mentionner IBM qui fait beaucoup du « B to O ».

Ce système de production a tendance à développer deux pratiques logistiques de livraisons directes aux clients, à savoir le 'direct shipment' et le 'door to door'.

Le direct shipment concerne des flux de produits qui vont de l'usine, directement chez le client sans passer par les entrepôts ou par l'entrepôt de l'entreprise ou de ses prestataires logistiques. Ce sont des flux de pur transport qui peuvent être de l'aérien, du combiné, du camion, du train, de fluvial ou du maritime sans rupture de charge. L'entrepôt est localisé à proximité de l'usine afin de réduire les stocks, de limiter les coûts de transport (massification) et de faire la ventilation beaucoup plus tôt dans la chaîne. Pour le moment, le direct shipment concerne donc des charges complètes (camions complets, etc.) et en mono-client, parfois deux clients.

« Le direct Shipment c'est je pars de l'usine et je vais livrer le client en direct. L'objectif pour IBM, c'est de tendre de plus en plus vers le direct-shipment » (Géodis).

« Nous pratiquons le principe de livraison directe, sans entreposage, parce que chaque dépôt entraîne des procédures de chargement et de déchargement qui, en fin de compte, alourdissent les coûts logistiques. Toutefois, il existe des contraintes du marché. Si, par exemple, nous devons livrer en Espagne, il est difficile d'éviter un entreposage intermédiaire. » (Bayer Ag)

Ce sont surtout les industriels, notamment IBM, qui développent la logistique de 'door to door ou de porte à porte' et non plus celle de 'usine- plate-forme (entrepôt) - client final'. Cette pratique logistique vise à éviter, pour tout produit, de passer par l'entrepôt central de l'entreprise. L'organisation logistique et sa réalisation sont confiées aux prestataires de services logistiques et de transport qui sont libres de faire un éclatement sur leurs plates-formes. La différence avec le direct shipment est qu'ici, il y aura quand même dans la chaîne des flux un endroit d'éclatement.

« Jusqu'à présent on fait toujours passer nos produits par des entrepôts centraux. Maintenant (depuis février 2001) on a mis en place des nouveaux systèmes, avec deux sous-traitants logistiques, pour amener directement chez le client final ; sans que ça passe par les entrepôts centraux, ou en tout cas, on ne veut pas le savoir. Il s'agit de confier à Géodis, en l'occurrence, la responsabilité de l'acheminement d'un produit qui part par exemple de Montpellier et qui va aller au sud de l'Espagne chez un client, ça ne passera plus par la plate-forme centrale de l'Espagne. En revanche Géodis est libre de s'organiser avec ses plates-formes régionales pour exécuter le transport. C'est ce que nous appelons le door to door ou porte à porte » (IBM).

Hypothèse 11

Les logistiques de livraisons directes aux clients entraînent une augmentation du nombre de véhicules en circulation et donc une consommation d'énergie plus élevée.

1.2.7 INFLUENCE DU CROSS-DOCKING SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE***Pratiques actuelles***

Le cross-docking fait référence au passage des produits par un entrepôt ou une plate-forme de stockage sans entrée en stock, avec une affectation immédiate à une commande et expédition. La traversée (cross) se fait de quai à quai (dock) sans stockage intermédiaire.

Le distributeur demande au fournisseur de préparer la commande d'un supermarché depuis l'usine. Lors de la préparation des commandes alloties, certaines tâches logistiques sont exécutées pour le compte du distributeur ; il s'agit de l'emballage, l'étiquetage, la pose d'antivols, le marquage, etc.). Ainsi en préparant la commande d'un supermarché depuis l'origine, les produits correspondants « transitent » seulement sur la plate-forme distributeur sans qu'on ait à défaire les emballages, extraire des quantités de produits, etc.; c'est le cross-docking sur la plate-forme. Le fournisseur livre les marchandises au distributeur par l'intermédiaire de son transporteur ou de son opérateur logistique qui ne fait que du cross-docking sur la plate-forme distributeur. Le distributeur rassemble sur la plate-forme les différentes palettes et cartons destinés à chaque magasin pour effectuer le chargement des camions et les livraisons. Le transfert des marchandises peut être très rapide (quelques minutes) avec moins de manipulations et de risques d'avaries.

Hypothèse 12

Le cross-docking entraîne une moins bonne optimisation des palettes.

Hypothèse 13

Dans le cross-docking la moins bonne optimisation des palettes entraîne des véhicules moins remplis, donc plus de véhicules en circulation et donc une augmentation de la consommation d'énergie.

Hypothèse 14

Par rapport aux livraisons directes, le cross-docking augmente les distances de transport.

1.2.8 INFLUENCE DES LOGISTIQUES INVERSEES SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE***Pratiques actuelles***

Le concept de Reverse Logistic (RL) ou « logistique inversée » s'inscrit dans la problématique plus globale de la distribution inversée (Reverse Distribution) qui est un domaine émergeant au sein des sciences de gestion ; il désigne deux principaux types de flux :

- le produit qui remonte la chaîne : retours du produits dont le client ne veut pas, services après-vente, produit invendu, marchandise périmée, etc. Le développement du *e-business* (B2B = Business to Business, B2C = Business to Consumer) conduira à des flux retours importants et complexes ; c'est une nouvelle forme de mise à marché des produits en sachant parfaitement qu'il y aura du retour ;

- les flux des produits en fin de vie, qui doivent être traité le plus écologiquement possible (déchets industriels, emballages, produits hors d'usage).

Les produits concernés par la logistique inversée présentent actuellement la caractéristique de ne pas être des flux massifs. Par ailleurs tous ces produits ne reviennent pas à au point de départ; et donc la Reverse Logistic recouvre beaucoup d'activités et de circuits très différents les uns des autres, d'où une grande complexité.

Hypothèse 15

Les logistiques inversées entraînent une augmentation de la consommation d'énergie.

1.2.9 INFLUENCE DE L'USAGE INTENSIF DU TRANSPORT ROUTIER PAR RAPPORT AUX AUTRES MODES SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE

Pratiques actuelles

Toutes les entreprises - qu'elles soient industrielles, commerciales ou prestataires- déclarent avoir recours systématiquement au transport routier dans les choix d'organisations logistiques :

« On utilise la route en grande majorité ; un tout petit peu l'avion en cas de transport urgent. Le fleuve, pas du tout. Puis la mer pour quelques flux entre l'Europe et les USA essentiellement. Le fer, de manière très ponctuelle; on le fait parfois en transport combiné, après le transport maritime». (Renault VI-Mack).

« On ne livre nos magasins qu'avec des camions. Pour livrer nos plates-formes on utilise aujourd'hui le rail uniquement sur les gros volumes en approvisionnements (eaux minérales, brasserie) » (Auchan).

« Chez Coop Suisse, les modes de transport utilisés, par ordre d'importance sont les suivants: route, rail, mer, fleuve, air» (Coop Suisse).

« L'offre de la Compagnie des Chemins de Fer n'est pas attractive pour nous, et notre demande de transport, en fonction de notre volume, est largement satisfaite par le transport routier. Le transport fluvial n'est pas non plus utilisable, parce que notre volume de transport est insuffisant pour un tel système». (Schering AG).

«Les modes de transport utilisés par ordre d'importance sont les suivants: Rail, route, mer, air. Il s'agit des modes de transport des prestataires logistiques qui viennent chez LONZA. Les modes de transport utilisés dépendent du client qui reçoit la livraison.». (Lonza)

« Le transport routier est le mode de transport qui occupe la première place dans nos activités de distribution (60 %, nos livraisons) ; en deuxième rang vient le transport fluvial; le transport ferroviaire vient en troisième position. Nous l'utilisons surtout sous forme du transport combiné route-rail.». (Bayer AG)

Les modes de transport utilisés par les entreprises sont par ordre d'importance : route, rail, mer, fleuve et avion. Le transport routier est certes bon marché, fiable, flexible, rapide et accessible mais son efficacité énergétique est médiocre, notamment par rapport au fer, au fluvial et au maritime.

Hypothèses 16

La technique du transport combiné rail-route bénéficie pour le parcours principal des avantages du rail par rapport à la route qui consomme moins d'énergie que le tout route.

Hypothèse 17

Les fréquences élevées des approvisionnements ou des livraisons sont un indicateur d'un usage intensif du transport routier, ce qui entraîne une augmentation de la consommation d'énergie.

1.2. 10 INFLUENCE DE LA REDUCTION DES EMBALLAGES (LIMITER LES EMBALLAGES PERDUS, ELIMINER LE SUR-EMBALLAGE, ETC.) SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE

Pratiques actuelles

Les entreprises utilisent de plus en plus des emballages durables et recyclables au détriment des emballages perdus afin de réduire la quantité d'emballages. C'est le cas de l'industrie automobile qui impose progressivement à ses fournisseurs d'utiliser des bacs en plastiques réutilisables. Les bacs vides sont ainsi collectés dans les usines, regroupés dans les plates-formes, puis lavés et réacheminés chez les équipementiers.

Hypothèse 18

La réduction de l'emballage, qui a un impact sur le poids et surtout le volume à transporter, permet de réduire la consommation d'énergie via la réduction de la circulation des poids lourds.

1.2.11 INFLUENCE DE L'AUDIT ENVIRONNEMENTAL SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE

Pratiques actuelles

De plus en plus de grandes entreprises, industriels, distributeurs mais surtout les prestataires des services logistiques et de transport, visent à obtenir un certificat de gestion environnementale qui nécessite une normalisation de leurs transports de marchandises par route. Ces normes visent notamment à réduire le nombre de véhicules*kilomètres. Pour obtenir ce certificat, les entreprises doivent faire un audit environnemental approfondi de leur fonction transport. Il y a des entreprises qui ont ou qui cherchent à obtenir la certification de gestion de l'environnement, telle que la norme européenne et d'audit ou la norme ISO en 14001²⁵ :

« En 1997, le système ISO, comme instrument du management écologique fut adopté. Cet instrument permet d'établir une structure pour le système écologique, en intégrant tous les secteurs de l'entreprise qui ont un impact sur l'environnement. Parmi ces secteurs figurent entre autres l'emballage, le transport, les textiles, la communication, la collecte des eaux des pluies. Le transport est l'un des secteurs importants pour nous, parce que nous sommes une entreprise d'expédition et d'importation. En 1993 nous nous sommes fixés comme objectif dans le secteur des transports d'atteindre une baisse de 45% des émissions CO2 en 2005, sur une base de 270.000 tonnes d'émissions de 1993. La philosophie de l'Entreprise n'est pas d'utiliser la

²⁵ Il faut rappeler que les normes environnementales ISO 14000 comprennent les standards concernant les six domaines suivants : le système de gestion de l'environnement ; l'audit de l'environnement ; le marquage concernant la qualité environnementale ; l'évaluation de la performance en termes de qualité environnementale ; l'évaluation du cycle de vie ; l'évaluation du produit en termes de qualité environnementale.

La réglementation 183/93 de l'Union Européenne permet aux industriels de participer aux schémas européens de l'éco-management et éco-audit. L'UE favorise ainsi l'établissement de plans concernant le marquage des produits éco-conformes suivant l'approche concernant le marquage CE sur certains produits.

conscience développée autour de l'environnement, mais plutôt d'en faire une marchandise à vendre » (Otto Versand)
« Le pôle logistique de Giraud est ISO 9002 et certaines de nos implantations sont déjà ISO 14000 version 2001 » (Groupe Giraud).
« Notre objectif est d'obtenir un certificat de performance écologique pour au moins 75% de notre chiffre d'affaires, selon les normes ISO 14001, d'ici 2002. Les performances actuelles nous permettent d'espérer atteindre cet objectif. Nous avons déjà 36% du chiffre d'affaires qui répondent aux normes ISO 14001, 42% autres vont bientôt satisfaire les exigences, et on travaillera pour les 22% restants » (Schenker AG)

Hypothèse 19

Les entreprises qui ont obtenu la certification de gestion environnementale (ISO 14001) ont une plus grande efficacité énergétique.

Conclusion du chapitre : construction des hypothèses

L'analyse bibliographique a permis de faire un état des lieux des tendances de la logistique et du transport de marchandises susceptibles d'avoir un impact sur l'énergie consommée ; une base documentaire est constituée en annexe.

La relecture des enquêtes B2K Consultants a été l'occasion de repérer les principales pratiques logistiques des entreprises et de formuler des hypothèses sur l'influence des choix logistiques sur la consommation d'énergie. Ces hypothèses seront testées au chapitre 4.

2 LES CONSOMMATIONS PAR VEHICULE

Dans ce chapitre, nous nous efforçons de préciser, à partir des travaux publiés, les consommations spécifiques à retenir par véhicule et surtout les différents types de véhicules à distinguer dans l'enquête ainsi que leurs principales caractéristiques qui ont une influence majeure sur leur consommation unitaire et les informations qui devront être recueillies dans l'enquête pour améliorer la prise en compte de la consommation d'énergie. Comparés aux transports de voyageurs, relativement peu de données sont disponibles sur les consommations d'énergie pour le transport de marchandises, à l'exception de la route. Nous avons utilisé en priorité les travaux du projet européen MEET qui fournit des méthodes d'estimation des consommations. Les émissions peuvent ensuite être calculées sur la base de l'énergie consommée, avec un facteur d'émission spécifique par type de polluant et de véhicule.

2.1 Véhicules routiers

Pour la route, les travaux de MEET sur les poids lourds ont été réalisés par AJ Hickman (1997). Après avoir comparé différentes méthodes européennes destinées à estimer les émissions de polluants des poids lourds, l'auteur conclut que ces méthodes fournissent des résultats 'raisonnablement convergents'. Il propose ensuite des fonctions qui permettent d'estimer la consommation de diesel ainsi que les émissions au 100 km, par catégorie de poids total en charge du véhicule et selon la vitesse moyenne. Des facteurs de correction permettent de tenir compte du poids du chargement et de la pente de la route. Nous nous concentrerons ici sur l'influence de la charge.

2.1.1 INFLUENCE DE LA CHARGE TRANSPORTEE

Quatre types de camions sont distingués dans ce rapport selon leur poids total en charge : de 3.5 à 7.5 tonnes, de 7.5 à 16 tonnes, de 16 à 32 tonnes et 32 à 40 tonnes. Pour un type de véhicule, les volumes d'émission par polluant ou la consommation unitaire (au 100 km) sont indiqués en fonction de la vitesse ; ce sont les coefficients 'de base', auxquels on applique ensuite un coefficient correcteur pour le chargement. Ce 'coefficient de correction pour tenir compte de la charge', estimé par Hickman, varie en fonction de la vitesse moyenne du véhicule et de la pente de la route.

Toutes choses égales par ailleurs et sur une roue plate, la consommation de carburant d'un véhicule à pleine charge par rapport à la consommation du même véhicule vide augmente beaucoup moins rapidement pour une vitesse moyenne 'normale' (80 km/h), que pour une vitesse lente (20 km/h.) qui implique de nombreux arrêts et démarrages, consommateurs d'énergie.

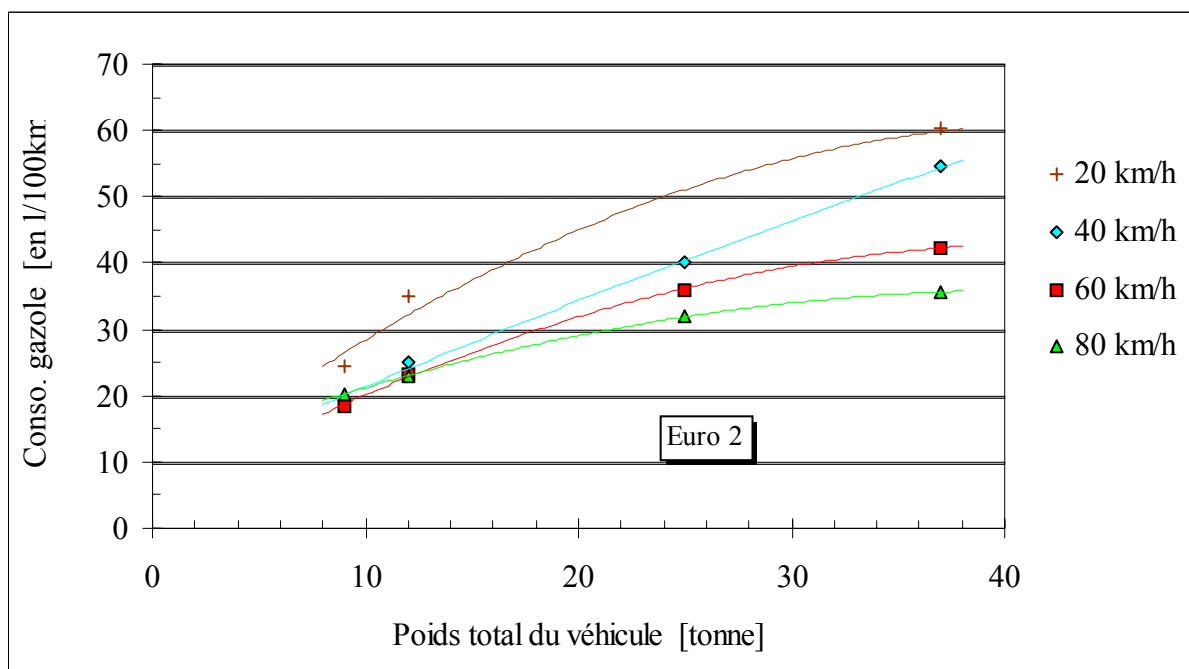


Figure 1 : Consommation de carburant en fonction du poids du véhicule (d'après Hickman 1997)

Dans la figure ci-dessus, les résultats concernant les consommations ont été 'lissés' par des courbes de tendance. A 80 km/h., un ensemble articulé qui consomme environ 25 l/100 km à vide, pour un poids de 13.5 t, consommera près de 35 l. à pleine charge (40 t.) soit 40 % de plus. Mais ce rapport est très sensible à la vitesse retenue : à 20 km/h. la consommation passe de 35 à 63 l/100 km soit une augmentation de 80 %.

En pratique, un véhicule à pleine charge ne circulera généralement pas à la même vitesse moyenne qu'un véhicule vide. Roumegoux (1995), donne pour un ensemble articulé de 40 t. de PTAC (13.5 t de poids à vide), une consommation de 25,1 l à vide à 69.2 km / h. et 43.6 l à pleine charge, à 62.2 km / h. Pour lui, la charge du véhicule a d'autant plus d'influence sur la consommation de carburant et les émissions de polluants que la charge utile est élevée.

Tableau 3 : Consommations unitaires et vitesses moyennes par type de véhicule et de route selon la charge

Véhicule et poids (à vide / PTAC)	Charge	Sur route		Sur Autoroute	
		Vitesse (km/h)	Conso (l/100)	Vitesse (km/h)	Conso (l/100)
Fourgon (1.8 / 3.5 tonnes)	Vide	76.5	9.1	123.7	16.4
	Pleine charge	74.2	10.8	117.7	17.0
Camion (12.0 / 19.0 t.)	Vide	68.9	23.4	88.4	25.7
	Pleine charge	66.8	28.2	84.7	29.5
Ensemble Articul. (13.5 / 40.0 t.)	Vide	69.2	25.1	88.0	27.0
	Pleine charge	62.2	43.6	75.6	42.1

Source : Roumegoux 1995

Le graphique ci-dessous synthétise les résultats de ce tableau. Par rapport au graphique précédent, la vitesse n'est plus constante et on distingue les consommations sur route et sur autoroute. Cette relation apparaît beaucoup plus facile à utiliser, du fait qu'elle tient compte de la variation de vitesse et que la fonction linéaire semble convenir à la fois pour le même véhicule en charge ou à vide et pour des véhicules de poids différents.

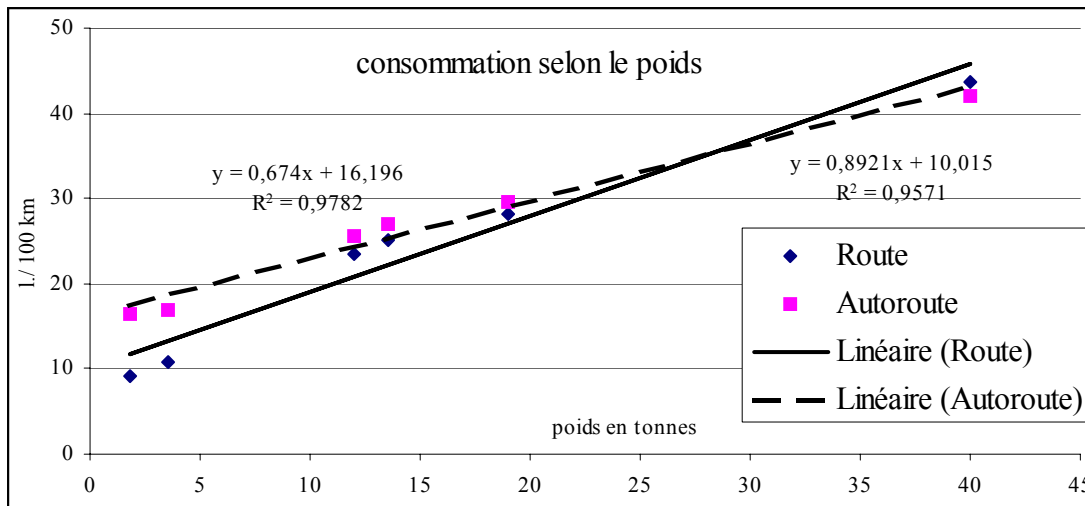


Figure 2 : Consommation de carburant en fonction du poids total du véhicule (d'après Roumegoux 1995)

Le tableau et le graphe précédents montrent aussi l'écart de consommation entre la route et l'Autoroute : pour le fourgon, la consommation est nettement plus élevée sur autoroute (respectivement + 80 et + 57 % à vide et à pleine charge) en raison d'une vitesse également beaucoup plus élevée. Pour les camions elle change relativement peu (+10 et + 5 %). La consommation de carburant augmente un peu sur autoroute pour les ensembles articulés qui circulent à vide (+ 8 %) mais elle est légèrement plus faible que sur route (- 3%) pour ceux qui circulent en pleine charge.

2.1.2 INFLUENCE DE L'AGE DU VEHICULE

L'évolution de la consommation moyenne des poids lourds est liée à deux phénomènes qu'il convient de distinguer : évolution de la consommation pour un véhicule de charge utile donnée et structure du parc selon la charge utile. La consommation d'un ensemble articulé 'maxi code' a diminué de 44 à 37 l/100 km entre 1980 et 1992 soit -16% ; selon le Citepa, la consommation moyenne des poids lourds neufs²⁶ devrait continuer de baisser entre 1995 et 2020 (de 23 %) alors que celle du poids lourd moyen ne diminue plus en raison de l'augmentation de la charge utile moyenne ainsi que de son chargement²⁷.

Plus encore que les consommations, ce sont les émissions de polluants qui ont beaucoup diminué ces dernières années, surtout pour les véhicules neufs, en raison des nouvelles normes d'émission : Pour les véhicules mis en service à partir de 1994, les normes sont définies au niveau européen pour les principaux polluants : oxydes d'azote (NOX) et particules.

2.2 Transport fluvial

Compte tenu du faible trafic de transport fluvial en France et de l'efficacité énergétique de ce mode, très peu de travaux ont été publiés sur la consommation d'énergie et les émissions de polluants. En particulier, le projet MEET n'a pas analysé le transport fluvial, le mentionnant seulement comme une extension des bateaux maritimes. L'une des particularités de ce mode est que, sur les grands fleuves (Seine, Rhone, ...) la consommation est différente selon que le bateau remonte ou descend le courant ; la consommation de ce fait ne peut s'exprimer simplement en fonction de la distance.

²⁶ Cette baisse serait de 30 % pour l'ensembles des poids lourds, y compris bus et poids lourds autres que transport de marchandises.

²⁷ Les consommations moyennes à la tkm continuent de baisser.

Une étude du Citepa (Beguier et al. 2000) donne une estimation grossière des polluants émis en fonction de la durée d'activité des bateaux. Une première méthode, pour estimer les émissions, part de la consommation globale d'énergie par le transport fluvial de marchandises en France. Cette consommation globale, fournie par le Comité Professionnel Du Pétrole, était de 53 000 t en 97. L'étude indique que 'Cette consommation correspond au trafic marchandises ; elle est indexée sur le trafic tkm en charge en France, tous pavillons confondus' sans préciser en quoi consiste cette indexation. Une seconde méthode, dite 'détaillée', se base sur le parc de bateaux français fourni par Voies Navigables de France (VNF) pour l'année 98.

Les données sur le parc, fournies par VNF, concernent les bateaux français au 21/12/98 et indiquent l'immatriculation, le port en lourd, la puissance en CV et le type de bateau (automoteur, pousseur, remorqueur). Le parc français comprend 1246 automoteurs, 173 pousseurs et 24 remorqueurs. Parmi les automoteurs, 91 % possèdent un seul moteur et 9 % possèdent deux moteurs. Les automoteurs à un moteur ont une puissance généralement comprise entre 50 et 300 kWh ; pour les automoteurs à deux moteurs deux gammes de puissance prédominent : entre 200 et 350 kWh et 350 à 500 kWh. Sur l'ensemble des automoteurs du parc VNF, la catégorie de puissance majoritaire est de 100 à 300 kWh (82 % du parc) encadrée par celle des moins de 100 kWh (6 %) et celle des 300 à 750 kWh (12 %). Le port en lourd de ces automoteurs, qui conditionne la charge du moteur lors de la navigation, varie de 250 à 3000 t, dont 76 % entre 250 et 399 t. Les ratios poids / puissance s'étalent de 1 à 10 t. / kWh. Parmi les pousseurs, 42 % ont un seul moteur, dont la puissance est assez groupée entre 50 et 300 kWh ; 58 % ont deux moteurs et leur puissance est très étalée, entre 200 et 2000 kWh. Sur l'ensemble des pousseurs deux catégories dominent : celle des 100 à 350 kWh (45 % des unités) et celle des 350 à 750 kWh (31 %).

Les données et estimations fournies par les professionnels aboutissent à une consommation de 0.25 l/kWh (soit 200 g/kWh) et les hypothèses suivantes sur le fonctionnement des bateaux : durée annuelle d'utilisation 1400 h/an pour les automoteurs 8000 h/an pour les pousseurs ; répartition selon le régime : 25 % au ralenti à 25 % de charge, 35 % en marche lente à 50 % de charge, 30 % en marche normale à 70% de charge et 10 % à plein régime à 90% de charges. On peut donc estimer une moyenne de 38 % de charge, soit pour un automoteur d'une puissance de 250 kWh, une consommation moyenne de $250 \times 0.38 \times 0.25 = 24$ litres par heure ou encore, à raison de 1400 h/an, une consommation annuelle de 33 000 l. ou 26.4 tonnes ou encore 33 000 t pour les 1246 automoteurs. Pour les pousseurs, d'une puissance moyenne d'environ 350 kWh, la consommation horaire moyenne serait de $350 \times 0.38 \times 0.25 = 33$ litres par heure²⁸ ou 26.6 kg soit 212.8 t par pousseur par an ou 41 922 t pour les 197 pousseurs et remorqueurs. Soit un total de 75 000 t pour l'ensemble du parc français de transport fluvial de marchandises.

Le vieillissement du moteur entraîne une augmentation de la consommation et des émissions par année ; le rapport du Citepa reprend la table suivante du « Atmospheric emission inventory guidebook » de 1996

Tableau 4 : coefficient intégrant l'âge du moteur au calcul des émissions

Polluant	Facteur correctif d'augmentation en % par année
SO2 / CO2	1
NOX	0
CO	1.5
COVNM	1.5

source : Atmospheric emission inventory guidebook 1996

²⁸ Par ailleurs, le SES retient une hypothèse de consommation moyenne de 40 l./ heure pour les automoteurs 'Freycinet', d'une puissance de 250 chevaux et une capacité de 250 t.; mais de 160 l./ heure pour les pousseurs pour une capacité de l'ordre de 2000 t.

2.3 Transport maritime

Pour le mode maritime, les travaux de MEET ont été développés par Trozzi et Vaccaro (1998). Comme pour les autres modes non routiers, les auteurs admettent la proportionnalité entre la quantité de carburant utilisée et les volumes d'émissions des différents polluants, par type de carburant. Une fois connue la consommation d'un carburant C, l'émission de chaque polluant peut donc être estimée en appliquant un 'facteur d'émission spécifique' propre à ce type de carburant. Le tableau ci dessous récapitule, par type de carburant et de moteur, les valeurs des émissions retenues dans MEET, en kilogrammes de polluant par tonne de carburant.

Tableau 5 : facteurs d'émission (en kg par tonne de carburant) retenus pour le transport maritime

Carburant et moteur	NOx	CO	CO2	COV*	PM**
Bunker Fuel Oil Steam turbines	6.98	0.431	3200	0.085	2.5
Marine Diesel Oil Steam turbines	6.25	0.6	3200	0.5	2.08
MDO Diesel High Speed engine (>30 n.)	70	9	3200	3	1.5
MDO Diesel Medium speed engines	57	7.4	3200	2.4	1.2
MDO Diesel Low speed engines	87	7.4	3200	24	1.2
Marine Gas Oil Gas turbines	16	0.5	3200	0.2	1.1

Source : Trozzi et Vaccaro (1998) p. 15 *COV : Composés Organiques Volatiles ; ** PM : Particules de Matière.

Sur la base de données fournies par Lloyd's Maritime Information Services Ltd, Trozzi et Vaccaro ont calibré des formules de consommation unitaire moyenne qui permettent d'estimer la consommation principale par type de navire, en tenant compte du tonnage brut (Gross Tonnage). L'échantillon de 11000 bateaux indiquait le tonnage brut mesuré selon la convention internationale de 1969 et la consommation 'à pleine puissance' du navire. Les consommations moyennes 'à pleine puissance' estimées par régressions linéaires²⁹ sont indiquées au tableau ci-dessous par type de navire. La dernière ligne (tous navires confondus) permet de faire une estimation lorsqu'on ne dispose d'aucune information sur le type de navire. Un facteur de 0.8 est retenu pour passer de la pleine puissance à la consommation moyenne. Les auteurs donnent aussi des valeurs moyennes pour la vitesse par type de navire, qui permettent d'estimer une consommation en connaissant seulement la distance (en miles nautiques) et le tonnage brut (GT) du navire. Cet échantillon ne comporte pas de bateau pour la navigation intérieure et la consommation de ce type de transport peut, selon ces auteurs, être estimée par la formule des navires de type 'general cargo'.

Tableau 6 : Consommations moyennes à pleine puissance selon le tonnage brut du navire

Ship type	Consommation moyenne en tonne / jour	Consommation en pleine puissance (t. / j.) En fonction du tonnage brut (GT)	Vitesse moyenne en noeuds
Vrac sec	33.80	$C_{jk} = 20.186 + 0.00049 * GT$	14.32
Vrac liquide	41.15	$C_{jk} = 14.685 + 0.00079 * GT$	14.2
General cargo ³⁰	21.27	$C_{jk} = 9.8197 + 0.00143 * GT$	14.29
Container	65.88	$C_{jk} = 8.0552 + 0.00235 * GT$	19.09
Passager / RoRo	32.28	$C_{jk} = 12.834 + 0.00156 * GT$	16.49
Passager	70.23	$C_{jk} = 16.904 + 0.00198 * GT$	17.81
Ferry TGV	80.42	$C_{jk} = 39.483 + 0.00972 * GT$	36.64
Autres	26.40	$C_{jk} = 9.7126 + 0.00091 * GT$	13.45
Tous bateaux	32.78	$C_{jk} = 16.263 + 0.001 * GT$	14.77

Source : Trozzi et Vaccaro (1998) p. 23

²⁹ Toutes les régressions ont un R > 0.68 et sont significatives au seuil de 95 %

³⁰ Valeurs aussi données pour le transport fluvial (Inland cargo)

Multipliées par le facteur 0.8, ces formules permettent d'estimer la consommation journalière principale du navire lorsque l'on connaît son tonnage brut et la distance nautique. Notons que la consommation principale journalière des navires peut être connue à partir des bases de données par abonnement tel que le 'Ship register' de Fairplay <http://www.ships-register.com/welcome.htm> ou la base Alphaliner de BRS <http://www.alphaliner.com/brs-alpha/search.htm>.

La consommation des navires est habituellement indiquée en tonnes par jours, en distinguant jours de mer, durant lesquels l'ensemble des moteurs fonctionnent et jours au port, durant lesquels seuls les moteurs auxiliaires consomment. Lorsque ces consommations unitaires du navire ne sont pas connues, les formules données par Trozzi et Vaccaro permettent d'estimer la consommation principale par type de navire, en tenant compte du tonnage brut (Gross tonnage) ; Cette méthode pose trois problèmes :

La consommation estimée ne tient pas compte de l'âge du bateau ; or les moteurs des navires anciens ont, comme ceux des véhicules routiers d'un certain âge, une consommation sensiblement plus élevée que celle des navires plus récents.

Seule la consommation principale, celle des moteurs qui servent à propulser le navire, est estimée, or la consommation des moteurs auxiliaires, destinés à permettre la vie à bord, peut représenter une part non négligeable de la consommation totale.

Enfin les auteurs ont estimé des consommations à pleine puissance mais ne donnent aucune indication sur la méthode d'estimation du facteur de 0.8 qui est proposé pour tenir compte du fait que le navire ne fonctionne généralement pas 'à pleine puissance'.

2.4 Avions

L'altitude de vol est un paramètre important pour apprécier l'impact du transport aérien sur l'environnement : selon le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (IPCC 1999), un litre de carburant consommé à 10 ou 11 km au dessus du sol, altitude à laquelle volent les avions modernes, est susceptible d'avoir un impact climatique plus important que le même litre consommé au niveau de la mer. Ainsi, du point de vue de l'effet de serre, une quantité de carburant consommée par un avion équivaut au même résultat que trois fois la même quantité brûlée dans une automobile.

La croissance du fret aérien est encore plus importante que celle des passagers et, même si elle est passée de 15 % dans les années 60 à 8 % environ au moment de la rédaction du rapport MEET, elle demeure supérieure à l'augmentation annuelle de 7% des transports par camions, l'autre mode de transport de fret en croissance rapide³¹.

Pour le mode aérien, les travaux de Meet ont été développés par MT Kalivoda et M Kudrna (1997). Ils distinguent 3 phases de vol pour le calcul des consommations et émissions des vols commerciaux dits IFR³², correspondant à des consommations homogènes :

- montée (manœuvres à terre, décollage et montée),
- croisière (vol en altitude de croisière),
- descente (descente, atterrissage et manœuvres).

Les principaux paramètres nécessaires pour calculer la consommation de carburant ou les émissions de polluants sont le type d'appareil, la distance totale entre les aéroports (à vol d'oiseau ou distance réelle) et l'altitude de croisière, des valeurs par défaut étant indiquées par type d'avion pour cette

³¹ Taux publiés en 97, la croissance était plus faible ces dernières années ; les dernières prévisions de l'IATA font état d'une croissance de 2,0 % par an sur la période 2001 2005 pour le fret aérien mondial sur vols réguliers.

³² Instrument Flight Rules , par opposition aux vols militaires et aux vols 'à vue' qui ne nous concernent pas ici.

dernière ; notons que le poids au décollage ne fait pas partie de ces paramètres. Des feuilles de données par type d'avions (Emission Data Sheets) contiennent des valeurs implicites pour les autres variables qui interviennent dans le calcul. Ces feuilles permettent d'estimer la consommation et les émissions de polluants aux différentes étapes du vol. Les 'Emissions Index Sheets' disponibles dans le rapport MEET concernent 30 types d'avions³³. On note l'absence de données pour les avions Antonov³⁴, réputé comme particulièrement polluants, dont il faudra chercher à estimer les émissions par ailleurs. Le tableau ci-dessous résume les consommations estimées à chacune des trois phases pour un vol de 1000 km pour 4 avions de type courant.

Tableau 7 : comparaison des consommations de carburant de 4 types d'avions pour un vol de 1000 km

Type d'avion Poids total maxi et charge utile ³⁵	Etape	Consommation en kg de carburant par mile nautique, par seconde ou par tkm offerte		
		Kg / NM	Kg/s.	Kg/tkmO ³⁶
B 727 95 t. 50 t.	Montée	17.1	1.801	
	Croisière	7.9	0.84	
	Descente	3.3	.032	
B 727	Ensemble du vol	9.3	0.98	0.10
B 737 76 t. 42 t.	Montée	12.7	1.35	
	Croisière	6.7	0.72	
	Descente	2.49	0.24	
B 737	Ensemble du vol	14.6	0.80	0.19
A310 164 t. 84 t.	Montée	17.6	2.05	
	Croisière	10.8	1.15	
	Descente	3.10	0.31	
A310	Ensemble du vol	11.8	1.28	0.076
A320 77 t. 35 t.	Montée	11.6	1.26	
	Croisière	6.15	0.65	
	Descente	1.78	0.18	
A320	Ensemble du vol	6.69	0.71	0.10

Source : d'après Kalivoda et Kudrna (1997)

Ainsi la consommation de carburant pour un vol de 1000 km est comprise dans cet exemple entre 7 et 15 tonnes et, rapportée à la tkm offerte, cette consommation serait comprise entre 76 g/tkmo pour l'Airbus A310 et 190 g/tkmo pour le Boeing 737 soit environ 10 fois plus que la route³⁷. Cette comparaison est plus ou moins défavorable à l'avion selon que la distance est inférieure ou supérieure à 1000 km. Enfin l'âge de l'avion n'intervient pas pour les avions car ils sont entretenus et leurs moteurs régulièrement changés.

2.5 Transport ferroviaire

Pour le mode ferroviaire, les travaux de MEET développés par Jorgensen et Sorenson (1997) admettent la proportionnalité entre énergie utilisée et émissions des différents polluants. L'émission de chaque polluant est estimée en appliquant un facteur d'émission spécifique, propre à chaque type d'énergie. Par exemple, pour une consommation exprimée en kg de fuel, le facteur d'émission spécifique s'exprime en grammes de polluant par kg de fuel. Le tableau ci-dessous donne des 'valeurs européennes typiques' de ces facteurs d'émissions pour les principaux polluants. Les facteurs d'émissions spécifiques correspondant à l'énergie électrique devraient refléter les quantités

³³ cf. Kalivoda & Kudrna 97 pp. 63 et suivantes.

³⁴ Selon M. Kudrna, la consommation d'un Antonov AN 124 pourrait être grossièrement estimée en prenant deux fois celle d'un TU 134 qui a deux fois moins de moteurs.

³⁵ obtenue par différence en max take off weight et operational empty weight des feuilles de calcul MEET

³⁶ = (consommation en kg /MN) / (1.852 * CU)

³⁷ une consommation de 40 litres au 100 km pour un poids lourd de 24 t. de CU donne 0.017 l./tkmo

de polluants émises pour produire un kWh d'électricité dans la région considérée et tenir compte d'un coefficient de perte dans le réseau électrique. En fait cette étude repose principalement sur des données danoises et allemandes ; on peut imaginer qu'elles sont assez éloignées de la réalité française³⁸. Ces coefficients sont exprimés en grammes de polluant par kWh.

Tableau 8 : facteurs d'émissions spécifiques

Emission	Facteurs d'émission spécifiques	
	A l'électricité (g/kWh)	Au fuel (g/kg)
CO	1 - 10	5 - 40
HC	0.5 - 4.0	3 - 25
NOx	6 - 16	30 - 70
Particules	0.2 - 1.2	1 - 6
So2	0.2 - 2	1 - 10
Consommation de fuel	190 - 220	-

(Source : Jorgensen et Sorenson (1997), p. 18)

Les auteurs signalent que les vieux trains sont susceptibles de polluer significativement plus que les nouveaux, en raison de la technologie moderne de diesel à injection.

Estimation de la consommation d'énergie d'un train sur un trajet

Les principaux paramètres pris en compte par Jorgensen et Sorenson pour estimer la consommation d'énergie d'un train sont sa masse, la distance parcourue, sa vitesse moyenne et le nombre d'arrêts. La masse du train est un paramètre essentiel car la méthode est basée sur le travail du train par unité de masse. Pour un train de marchandises, le poids total dépend à la fois du poids à vide et du chargement. Le poids maximum est lié au nombre d'essieux et un essieu actuel supporte en moyenne 22,5 t. Pour les wagons récents, le ratio tare / poids total est de 0.27 (un ratio de 0.2 est prévu pour les wagons construits en 2020, mais, compte tenu de la longévité des wagons, ceci n'aura qu'un impact minime sur le ratio moyen). Dans une locomotive diesel, le moteur diesel sert à produire de l'électricité. Comparé à une locomotive électrique, la locomotive diesel porte en plus le moteur diesel, le générateur d'électricité et le carburant. Ainsi une locomotive d'une puissance de 2000 kW pèsera 25 tonnes de plus si elle est diesel. L'étude indique également le moyen d'estimer le poids de la locomotive en fonction de sa puissance. La vitesse moyenne est la distance du trajet divisée par le temps total de parcours et comprend donc aussi les temps d'arrêts. Cette formule a été estimée principalement pour les trains de voyageurs ; pour les marchandises il faudrait retrancher les temps d'arrêt. L'énergie consommée par un train de poids total T tonnes, pour parcourir un trajet d'une distance D km et comptant A arrêts, à une vitesse moyenne V km/h est ainsi estimée pour les trains de marchandises :

$$\text{consommation (en kj)} = (0.019 [V^2 / \ln(D/[A-1])] + 63) * (T * D)$$

Cette équation a été estimée pour des distances moyennes entre arrêts comprises entre 80 et 200 km, pour un 'gros' train, dont le poids à vide est de 600 tonnes. Toutefois les auteurs ne précisent pas sur combien d'observation ces paramètres ont été estimés. Ils comparent les résultats de leurs estimations avec ceux du modèle de simulation RailSim qui 'reproduit' les conditions de circulation réelles de trains allemands. Pour les trains de marchandises, la comparaison porte sur un train

³⁸ La nouvelle méthode d'établissement des bilans énergétiques de la France distingue trois cas d'énergie électrique :
 - l'électricité d'origine nucléaire est comptabilisée en équivalent primaire à la production avec un rendement théorique de conversion de 33% ; le coefficient de substitution est donc $0,086/0,33 = 0,2606$ tep/MWh ;
 - l'électricité des centrales à géothermie est aussi comptabilisée en équivalent primaire à la production mais avec un rendement théorique de conversion de 10% ; le coefficient de substitution est donc $0,086/0,10 = 0,86$ tep/MWh ;
 - toutes les autres formes d'électricité (centrale thermique classique, hydraulique, ... consommation) sont comptabilisées selon la méthode du contenu énergétique avec le coefficient $0,086 = 0,86$ tep/MWh.

composé d'une locomotive BR140 et de 21 wagons, soit un poids total de 1366 tonnes. Le tableau ci-après compare les résultats estimés par RailSim avec ceux du 'modèle' des auteurs.

Tableau 9 : comparaison des estimations de Jorgensen & Sorenson avec celles de RailSim pour un train de marchandises de 1366 tonnes parcourant 82 km

Nombre d'arrêts	Vitesse moyenne Km / h.	Consommation Spécifique en Kj / TT*		
		auteurs	Railsim	% écart
0	71.1	84.8	84.9	1
2	71.1	92.1	101.9	9

* TT = tonnage total (train + marchandises)

L'affectation à un envoi considéré de l'énergie dépensée sur le trajet

Une fois estimée la consommation du train sur le trajet, il faut encore affecter à l'envoi suivi la part d'énergie consommée qui lui revient. Ceci nécessite de tenir compte du poids de l'envoi par rapport au poids total des marchandises chargées dans ce train et des parcours à vide que le train ou ses composants, locomotive et wagons, peuvent avoir à parcourir à vide, pour venir chercher le fret avant le trajet considéré dans l'enquête ou en retour après ce trajet. La distance des parcours à vide avant et après le trajet peut être soit connue directement (parcours à vide réalisés avant et après le trajet considéré), soit estimé à partir d'un coefficient de parcours à vide rapporté au parcours en charge. Pour cette distance à vide on estimerait une consommation moyenne d'énergie par km. Cette méthode simple ne permettrait pas de tenir compte des spécificités régionales (dans telle région tel type de wagons doit être amené de très loin).

Il serait très souhaitable de confronter les estimations de Jorgensen et Sorenson, qui ont travaillé principalement sur des données allemandes et danoises, avec des données françaises de consommations d'énergie des trains de marchandises. Il faudra également adapter les coefficients d'émissions spécifiques.

Conclusion du chapitre : Les consommations par véhicule

Sur la base des travaux publiés, on connaît assez bien la consommation d'énergie pour la route et moins bien pour les autres modes (chemin de fer, voies navigables, maritime et aérien). Le chapitre 6 apporte quelques propositions pour améliorer, dans le cadre de l'enquête ECHO, notre connaissance de la consommation d'énergie par véhicule des modes autres que routier.

Pour l'exploitation des enquêtes Mystic et Nord-Pas de Calais dans ce rapport, une méthode simplifiée d'estimation de la consommation d'énergie par envoi sera appliquée en tenant compte des variables disponibles ; c'est l'objet du chapitre suivant.

3 PREPARATION DE LA BASE DE DONNEES

L'objet de ce chapitre est de décrire la base de données qui sera utilisée et en particulier les hypothèses et calculs qui ont été faits pour estimer l'énergie consommée pour le transport de chaque envoi. Quatre étapes sont nécessaires pour relier un envoi, à la consommation d'énergie et aux nuisances émises pour son transport :

- Recenser la circulation des différents véhicules utilisés par cet envoi (les différents trajets qui composent la chaîne physique de transport), ce qui est correctement renseigné dans les enquêtes chargeurs. Après avoir rappelé les principes généraux des enquêtes chargeur, nous présenterons les échantillons 'Nord-Pas-de-Calais' et 'Mystic' que nous avons utilisé ici.
- Estimer pour chacun de ces trajets une consommation de carburant, en fonction des caractéristiques du trajet (distance) et des caractéristiques du véhicule qui ont une influence majeure sur sa consommation (type d'énergie, poids, ...). Cette estimation utilise les résultats du chapitre précédent.
- Attribuer à l'envoi suivi une fraction de cette énergie consommée ; cette fraction sera proportionnelle à la part du poids de l'envoi suivi dans le poids total du chargement que transporte le véhicule.
- Et enfin sommer les consommations ainsi définies sur l'ensemble des trajets.

3.1 Les enquêtes auprès des chargeurs

3.1.1 PRINCIPES DES ENQUETES CHARGEURS

Pour analyser la mobilité des marchandises, notamment lorsqu'elles ont recours à des chaînes de transport complexes, l'Inrets a mis au point un dispositif d'observation connu sous le nom d'enquête chargeurs, qui a été mis en œuvre avec succès une première fois en France en 1988. Ces enquêtes ont pour objectifs principaux :

- d'assurer une connaissance des chaînes de transport de marchandises de bout en bout en termes d'articulation des modes de transport ou des véhicules, ainsi que de modes d'organisation de ces chaînes ;
- de permettre de comprendre les déterminants logistiques des caractéristiques des envois, selon notamment l'activité, l'importance et les choix logistiques des établissements chargeurs, y compris dans une perspective de modélisation.

Le recueil de l'information porte sur trois niveaux d'information.

Niveau établissements chargeurs : l'établissement est interrogé d'abord par lettre sur les volumes, sur la structure des trafics émis et reçus et sur les équipements de transport en termes de véhicules et d'engins lourds de manutention. Puis le responsable logistique est questionné en face à face sur les caractéristiques économiques de l'établissement, et notamment ses conditions de production de distribution et de stockage, ses relations avec les clients et fournisseurs, les systèmes de gestion et de communication utilisés. Cette description de l'organisation industrielle et logistique de l'établissement est complétée par un volet « transport » qui recouvre les relations avec les transporteurs, les conditions d'accès aux différentes infrastructures, le partage de la maîtrise du transport entre l'établissement et ses partenaires, des indicateurs de coût et de qualité du transport ou encore les basculements de mode opérés et leurs raisons.

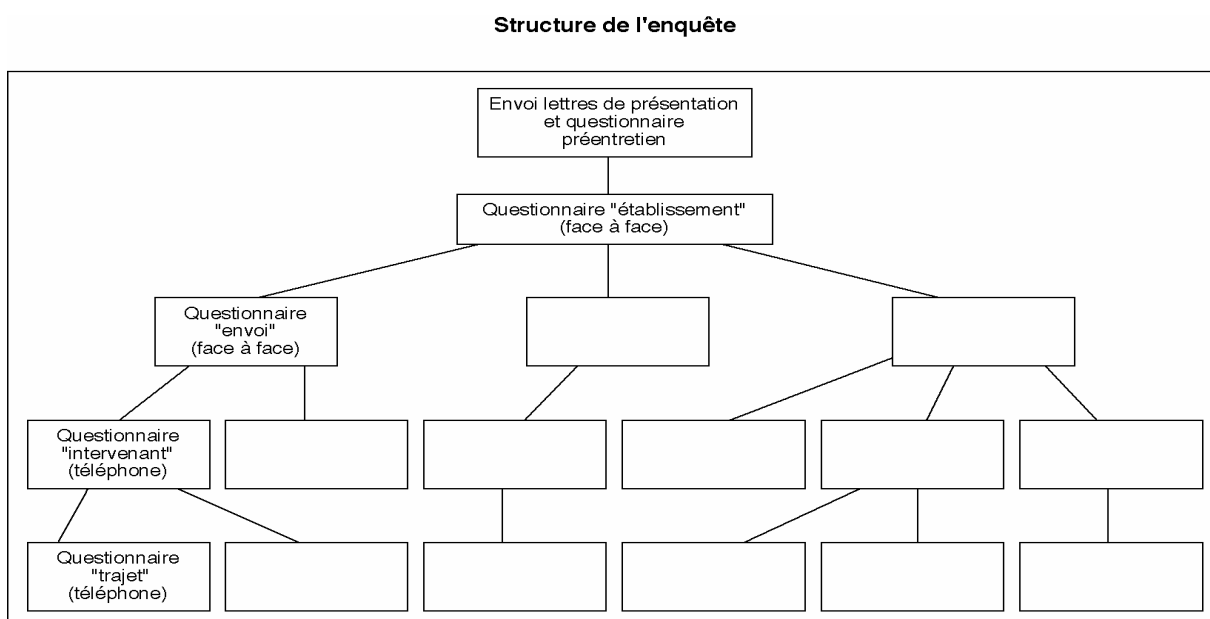
Niveau envois : à la fin du questionnaire établissement, les 20 derniers envois sont relevés, parmi lesquels 3 sont sélectionnés pour un suivi jusqu'au destinataire final. Les questionnaires envois sont remplis avec le responsable précédent ou avec le responsable des expéditions. Les questions portent sur les relations économiques entre l'expéditeur et son client et sur les conditions de l'échange commercial notamment en termes de délais imposés; elles décrivent également les caractéristiques

physiques et économiques de l'envoi, la répartition des responsabilités dans l'organisation du transport, l'imputation contractuelle des prix du transport et des prestations associées, leur montant ainsi que les critères de choix modal retenus pour l'envoi. C'est aussi à ce niveau que sont recueillis les premiers éléments nécessaires à la reconstitution des chaînes avec l'identification du destinataire et des opérateurs auxquels l'établissement a confié l'envoi. Les différents intervenants ainsi identifiés sont interrogés à leur tour, non plus en face à face mais par téléphone.

Niveau intervenants : les questionnaires, nécessairement assez brefs puisqu'administrés par téléphone, portent sur les caractéristiques économiques de ces intervenants (activité, statut, taille, localisation), les systèmes d'information et les applications transport utilisées, le recours au transport combiné rail-route. Ils permettent également de préciser le rôle de l'intervenant dans l'envoi, ses liens avec l'expéditeur, le destinataire ou le donneur d'ordre et les prestations réalisées. S'ils ont eux-mêmes contacté d'autres intervenants, ceux-ci sont identifiés pour être interrogés à leur tour et compléter la description de la chaîne de transport jusqu'au destinataire final.

Niveau trajets : ces questionnaires sont remplis par les intervenants qui ont effectué un transport. Le transport est décomposé dans ces questionnaires en autant de trajets que de modes ou de véhicules empruntés ou d'arrêts imposés pour le traitement de la marchandise (prestations logistiques telles que finalisation des produits, étiquetage, emballage, opérations de groupage / dégroupage ...). Les informations recueillies permettent d'identifier les lieux de passage intermédiaires et les prestations qui y sont effectuées (en particulier groupage avec d'autres marchandises dans le même véhicule) ; de reconstituer les distances et les différents temps de parcours et de transit ; et de connaître le poids de l'ensemble du chargement contenu dans le véhicule. D'intervenant en intervenant, les chaînes de transport sont ainsi reconstituées en s'appuyant sur ce que chacun a effectivement fait. Ce suivi est mené jusqu'aux frontières françaises (enquête NPDC) ou dans toute l'Europe de l'Ouest (enquête Mystic) et inclut l'interview des destinataires de ces pays. Pour les envois allant au-delà, seuls sont interrogés les intervenants ayant opéré sur le territoire couvert (France ou Europe), les trajets étant reconstitués jusqu'au premier point de rupture après passage de la frontière.

Figure 3 : les différents niveaux de l'enquête chargeurs



Les exploitations de ce rapport se réfèrent principalement aux niveaux 'trajet' et 'envoi', ce dernier étant considéré comme une succession de trajets ou chaîne de transports. Les consommations

d'énergie, éventuellement rapportée au tonnage kilométrique, ainsi que les caractéristiques du transport sont calculées en moyenne, sur la population des trajets ou sur celle des envois.

3.1.2 ECHANTILLONS UTILISES : LES ENQUETES TESTS NPDC ET MYSTIC

Deux enquêtes tests ont été réalisées en 1998-1999 pour améliorer la méthode des enquêtes chargeurs : l'une réalisée en région Nord-Pas de Calais (NPDC) dont les envois étaient suivis jusqu'à la frontière française et l'autre, intitulée Mystic du nom d'un projet européen, ne portait que sur les exportations, et suivaient les envois jusqu'à la frontière européenne.

Dans chacune des deux enquêtes, l'échantillon est constitué d'un peu plus de 200 établissements soit, à raison de trois envois environ par établissement, un peu plus de 600 envois ; soit encore, compte tenu des envois comportant plusieurs trajets, plus de 2400 trajets pour l'ensemble des deux enquêtes³⁹.

Tableau 10 : Echantillons observés dans les enquêtes tests NPDC et Mystic

	Nombre d'établissements	Nombre d'envois	Nombre de trajets*
Nord Pas de Calais	215	639	1020
Mystic	202	632	1403
Total	417	1271	2423

(*) non compris les trajets hors de France (NPDC) ou hors d'Europe (Mystic) qui ne sont pas observés

3.1.3 RAPPEL DU CHAMP NON COUVERT PAR L'ENQUETE

Le trafic de transit et les importations, du fait de la méthode de sélection des établissements et des envois, ne sont pas couverts par les enquêtes. Il s'agit des flux de trafics de fret nord-sud (Lille, Metz-Nancy, Dijon, Lyon, Nîme-Montpellier, Bordeaux, Rouen, etc.) ; des flux est-ouest moins importants quantitativement ; des flux de traversée alpines et pyrénéennes et les flux d'accès et de traversée de l'Île-de-France.

Pour les envois internationaux, seuls les intervenants ayant opéré sur le territoire français ou européen sont considérés. On ne connaît donc la partie hors Europe (hors de France pour NPDC) qu'à partir des déclarations des intervenants européens (ou français).

Les tous petits envois sont exclus : la limite inférieure de poids est passée de 5 kg dans les enquêtes passées à 1 kg pour l'enquête ECHO 2003, afin de prendre en compte notamment la messagerie express des intégrateurs.

Les petits établissements et certaines activités sont hors champs : ne sont couverts par ces enquête que les établissements de plus de 10 salariés des activités industrielles, de la distribution et du commerce de gros. Les établissements de moins de 10 salariés et ceux des activités de mines et carrières, du bâtiment et des travaux publics sont donc hors champ.

Les transports de marchandises en ville : le commerce de détail est clairement hors du champ de l'enquête puisque ses établissements n'expédient pas eux-même. Après le magasin, c'est le particulier client du commerce, qui réalise le transport et la zone de chalandise de ces commerces de détail, qui constitue un prolongement de la supply chain, fait l'objet d'autres approches. En

³⁹ Cf Guilbault, Piozin, Rizet (2000) pour l'enquête NPDC et Guilbault, Rizet et alii (2000) pour Mystic.

revanche les plates-formes et entrepôts qui approvisionnent ces détaillants ont été introduits dans le champ de la prochaine enquête ECHO afin d'articuler l'approche 'chargeurs' avec cette approche 'marchandises en ville'.

3.2 Enrichissement de la base de données

Une fois connues les consommations d'énergie par type de véhicule (chapitre un), des traitements sont nécessaires pour estimer l'énergie consommée pour transporter les envois décrits dans ces enquêtes : calcul des distances à partir des villes ou communes d'origine et de destination, estimation des variables manquantes, et calcul des consommations d'énergie par envoi. Les traitements statistiques, préparation de la base et exploitation, ont été en grande partie réalisés par C. Bisquay et V. Guibault durant leur stage à l'INRETS, de mai à Juillet 2002.

3.2.1 CALCUL DES DISTANCES

Deux types de distances sont calculées par trajet puis par envoi : une distance 'à vol d'oiseau' entre les communes d'origine et de destination du trajet ou de l'envoi et une distance 'parcourue', tenant compte du réseau de transport. Pour l'envoi, la distance parcourue est la somme des distances parcourues à chaque trajet, alors que la distance à vol d'oiseau est calculée entre l'origine du premier trajet et la destination du dernier trajet.

- Distances routières

Pour les trajets routiers, l'allongement moyen de la distance 'parcourue' par rapport à la distance à vol d'oiseau a été calculé en comparant, sur une centaine de relations, les distances à vol d'oiseau et routière⁴⁰. La régression linéaire donne un coefficient de détermination égal à 0,98 (cf. annexe 2 p. 99):

$$\text{distance routière} = 1,2147 * \text{distance vol d'oiseau} + 6,4329$$

Pour les trajets effectués à l'intérieur d'une même commune, la distance est fixée à 1 km.

- Distances fluviales

Les trajets fluviaux sont peu nombreux dans nos observations : les distances de navigation ont été retrouvées à partir d'une description du réseau des voies navigables.

- Distances maritimes

Les distances maritimes ont été retrouvées grâce au site WEB : <http://www.maritimechain.com> qui donne les distances de port à port en miles nautiques (1 mile nautique = 1,85 km).

- Distances aériennes

Les distances aériennes ont, elles aussi, été trouvées à partir d'un site WEB : <http://www.abm.fr/avion/gvadistance.html> donnant les distances en km entre les aéroports du monde.

- Distances ferroviaires

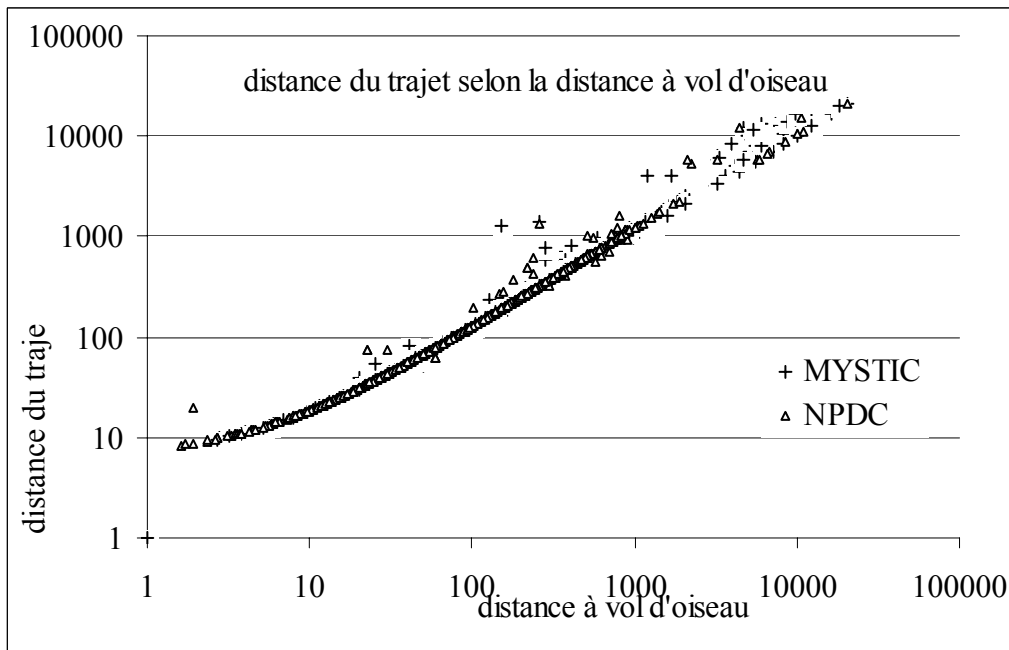
Les distances ferroviaires, en faible nombre, ont été estimées à partir d'une description du réseau ferroviaire européen donnant notamment les distances entre les principaux nœuds.

La figure 4 compare, par trajet, les distances parcourues avec les distances à vol d'oiseau. Chaque trajet y est figuré par un point dont l'abscisse est la distance à vol d'oiseau et l'ordonnée la distance réellement parcourue. Pour une meilleure lisibilité, les axes sont en échelle logarithmique. La grande majorité des observations sont routières et la distance parcourue (en ordonnée) est une fonction linéaire de la distance à vol d'oiseau, dont l'ordonnée à l'origine se situe à 6,5 km. Pour les

⁴⁰ Distances routières estimées à l'aide du logiciel «Voyageur 2000 TNT »

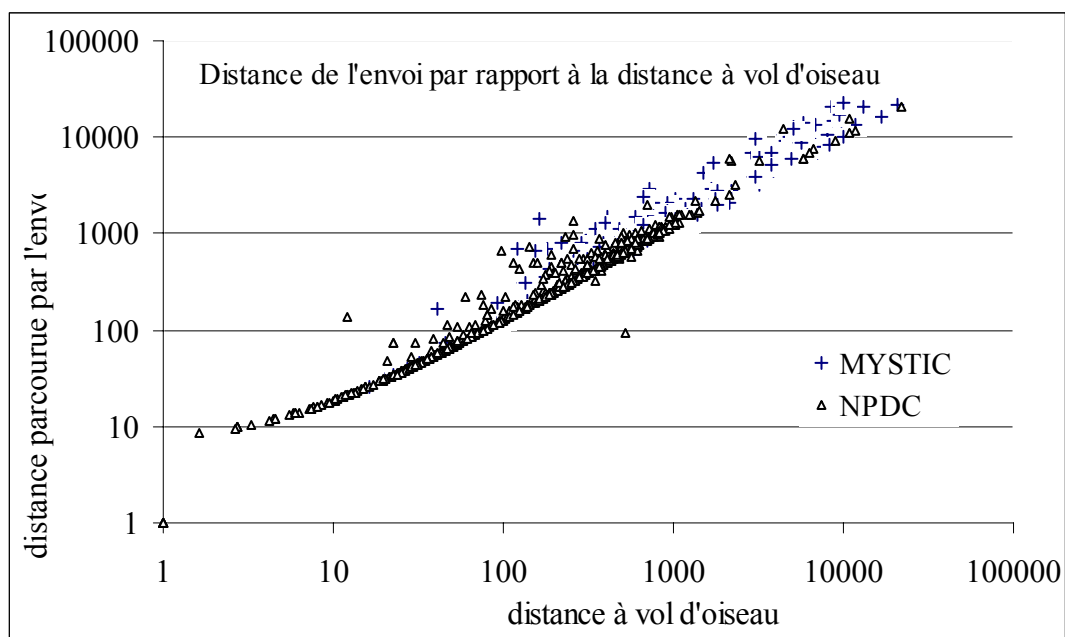
autres modes, on vérifie que les distances parcourues sont toujours supérieures ou égales aux distances à vol d'oiseau ; elles peuvent être très supérieures pour la voie d'eau ou la voie maritime.

Figure 4 : comparaison entre distances à vol d'oiseau et distance parcourues par trajet



Dans la figure 5 suivante, ce ne sont plus les trajets mais les chaînes de transport qui sont figurées, avec en ordonnée la somme des distances parcourues sur les différents trajets et, en abscisse, la distance à vol d'oiseau entre l'origine et la destination finale de l'envoi. Par rapport à la figure précédente, l'écart entre les distances parcourues et distances à vol d'oiseau est souvent plus important : lorsque la chaîne comporte plusieurs trajets, le point de transbordement se situe rarement sur la ligne droite reliant l'origine à la destination finale, rallongeant d'autant la distance parcourue.

Figure 5 : comparaison entre distances à vol d'oiseau et distance parcourues par chaîne de transport



3.2.2 ESTIMATION DES VARIABLES MANQUANTES

Certaines variables nécessaires à l'estimation des consommations d'énergie ont du être estimées, soit systématiquement pour l'ensemble des observations, telles les distances ou le poids à vide du véhicule routier, soit pour les observations où ces variables n'étaient pas renseignées. Par exemple, pour le mode routier, plutôt que d'abandonner les observations dont le poids du chargement de l'un des trajets routiers était manquant, nous avons estimé ce poids.

- Poids du chargement routier.

Lorsqu'il n'y a pas eu de groupage, le poids du chargement est le même que celui de l'envoi. Lorsqu'il y a eu groupage, il y a plusieurs envois dans le même véhicule et le poids du chargement est supérieur à celui de l'envoi suivi. Ce poids du chargement est souvent non renseigné et il nous a fallu l'estimer. Avant l'estimation proprement dite, deux tests ont permis de s'assurer de la cohérence des variables utilisées : poids du chargement supérieur ou égal au poids de l'envoi et cohérence entre le poids du chargement et la charge utile du véhicule. Les variables utilisées pour estimer le poids du chargement routier, en cas de groupage et de poids du chargement non renseigné sont les suivantes : la chaîne modale (compte propre, compte d'autrui trajet direct, compte d'autrui trajets multiples, Pré-acheminement des modes ferroviaires, maritimes, fluviaux et aériens), le nombre de clients (d'envois) regroupés, le type de véhicule, le poids de l'envoi, du lot ou de la tournée, la distance parcourue.

Les régressions linéaires estimées sur les observations correctement renseignées ont été appliquées pour calculer le poids des chargements manquants. Les résultats sont donnés en annexe. Une vérification de l'ordre de grandeur des poids estimés a ensuite été faite ; une limite supérieure du poids estimé du chargement a été fixée à 25 tonnes.

- Poids à vide des véhicules routiers

Pour le calcul de la consommation d'énergie par trajet, le poids total du véhicule est estimé comme la somme des poids du véhicule à vide et du chargement. Nous avons estimé le poids à vide des véhicules comme la différence entre le poids total autorisé en charge (PTAC), représentant le poids que le véhicule ne doit pas dépasser avec sa cargaison et la charge utile (CU) qui correspond au poids maximum que la cargaison ne devrait pas dépasser. Les données de PTAC et de CU pour différents types de camions⁴¹ nous ont permis d'estimer un poids à vide en fonction de la charge utile du véhicule, selon le modèle de régression logarithmique avec un coefficient de détermination égale à 0.8152 : $\text{Poids à vide} = 3491.7 * \ln(\text{charge utile}) - 22612$

La charge utile est obtenue en multipliant le poids du chargement par 1,15 si ce dernier était inférieur à 25 tonnes. Par contre s'il était égal ou supérieur à 25 tonnes nous avons supposé que la charge utile était égale au poids total de chargement. Une limite inférieure a été fixée à une tonne pour le poids à vide des véhicules.

3.3 Calcul des consommations d'énergie

Pour le mode routier, les consommations de carburant, en litre / 100 km, sont estimées en fonction du poids total du véhicule en tonnes selon le modèle développé au premier chapitre (relation 'route' de la figure 2 p. 29).

$$\text{Consommation} = 0,892 \text{ poids total} + 10,0$$

Nous avons pris en compte un coefficient moyen de parcours à vide pour chaque type de véhicule, en distinguant s'il s'agissait de compte propre ou de compte d'autrui. Ces coefficients de parcours à vide ont pour source l'enquête sur les Transports Routiers de Marchandises (TRM) du Ministère des

⁴¹ trouvées en particulier sur le site www.euro-camions.com

Transports. Comme nous avons besoin des types de véhicule pour estimer les parcours à vide, les cas où ils n'étaient pas renseignés ont été complétés à partir du poids du chargement.

Tableau 11 : Coefficients de parcours à vide des camions de marchandise (distance parcourue à vide / distance parcourue en charge)

PTAC du véhicule	Compte d'autrui	Compte propre
<3,5 t	20%	43%
3,5 t à 6,6 t	20%	41%
> 6,6 t	28%	56%

Source : d'après Sitram

Ces consommations d'énergie estimées en litre ont été converties en gep (gramme équivalent pétrole) avec une densité du gazole de 0,84 kg / litre.

• Pour les transports ferroviaires, nous avons utilisé des consommations énergétiques moyennes fournies par l'ADEME, indiquées dans le tableau suivant.

Tableau 12 : Consommations d'énergie des différentes catégories de trains en traction électrique

	Consommation énergétique moyenne (gep / t.km)		
	électricité	diesel	ensemble
Train complet	3,2	13,8	4,7
Transport combiné	4,5	16,7	4,7
Wagon	6,3	25,6	8,7

Source : d'après données ADEME : " SNCF - Trafics et consommations d'énergie par mode de traction en 1999"

A défaut d'information sur le type d'énergie réellement utilisée, nous avons retenu la consommation moyenne par type de train. L'énergie de traction électrique a été convertie en gep avec le coefficient d'équivalence énergétique à la consommation : 1 kWh = 86 gep. Le fait d'utiliser un coefficient d'équivalence énergétique finale (à la consommation), plutôt qu'un coefficient primaire (à la production) pour la conversion de l'énergie électrique en gep est favorable au chemin de fer dans la comparaison avec les autres modes, puisque cela revient à 'oublier' le rendement de 30% (seulement) de la transformation⁴² ; les consommations énergétiques moyennes du fer (traction électrique) exprimées en gep/tkm seraient 2,6 fois plus élevées avec ces coefficients à la production. A l'opposé, le fait que l'énergie nucléaire en France soit majoritairement d'origine nucléaire devrait également être pris en compte dans la conversion, dès lors qu'on s'intéresse aux émissions de gaz à effet de serre.

• Pour les transports maritimes et fluviaux, nous nous sommes basés sur les consommations énergétiques moyennes suivantes, fournies par l'ADEME.

Tableau 13 : Consommations d'énergie des modes maritimes et fluviaux (en gep / t.km)

Mode de transport	consommation unitaire	année de mesure
Transport maritime : porte-conteneurs de 1985 (43 000 TPL)	4,6	1990
Navigation fluviale :		
bateaux poussés (> à 350 tonnes)	8,5	1978
automoteurs de rivière (<= 350 tonnes)	7,7	1978
automoteurs de canal (<= 250 tonnes)	12,6	1978

Source : Observatoire de l'Energie, tableaux des consommations d'énergie en France" – édition 99

⁴² cf Ministère de l'Economie et des Finances DGEMP/OE 2002 : La nouvelle méthodologie d'établissement des bilans énergétiques de la France

• Pour le transport aérien, la consommation d'énergie est celle du Boeing B737, l'avion le plus utilisé en Europe, estimée à l'aide des travaux de MEET. La relation retenue est la suivante entre la consommation (en tonne de kérosène), la charge utile (en tonne) et la distance parcourue (en km).

$$\text{consommation} = [0,0002 * \text{distance} + 0,024] * \text{charge utile}^{43}$$

Notons que cette consommation serait nettement plus faible avec un airbus A310 ou A320 ; il s'agit donc ici d'un majorant. Pour calculer la consommation par trajet nous retenons un taux de chargement moyen de 50% (en tonnage), un taux de parcours à vide de 15% et une densité du kérosène de 0,8 kg / litre.

Conclusion du chapitre : Préparation de la base de données

Dans ce chapitre nous avons décrit la préparation de la base de données qui sera utilisée d'une part pour estimer l'énergie consommée en moyenne pour le transport de chaque type d'envoi et d'autre part pour tester les hypothèses élaborées au chapitre précédent. Il convient de souligner ici les limites de ce calcul de l'énergie consommée par envoi.

Pour l'ensemble des modes le coefficient de retour à vide est estimé au niveau national, au mieux par type de véhicule, sans tenir compte des déséquilibres régionaux des flux ni des particularités de l'envoi suivi (véhicules spécialisés, variations saisonnières).

Le calcul des consommations de carburant est basé sur de nombreuses estimations : des poids de chargement manquants, des poids des véhicules à vide, des distances réellement parcourues. Ce sont autant d'éléments qui apportant des imprécisions sur les consommations estimées.

Mais surtout, nos estimations ne sont pas homogènes selon les différents modes de transports : pour les trajets non routiers, l'énergie dépensée par envoi résulte non pas d'une estimation basée sur l'utilisation réelle de la capacité d'un type de véhicule mais d'une valeur moyenne établie pour la France entière. Dans ces conditions, toute comparaison entre des consommations des différents modes de transport ne sera que très approximative

⁴³ Charge utile définie en 2.4 comme la différence entre poids maximum au décollage et le poids de l'appareil opérationnel à vide

4 CONSOMMATIONS UNITAIRES PAR TRAJET ET PAR ENVOI

Nous appelons consommation unitaire d'un envoi, l'énergie consommée pour le transport de cet envoi, en gramme d'équivalent pétrole, rapporté au tonnage kilométrique de l'envoi (gep/tkm). Pour un trajet, ces consommations unitaires se rapportent à un seul véhicule et les deux paramètres pris en compte sont la consommation du véhicule et l'importance de l'envoi suivi dans l'ensemble du chargement de ce véhicule. Pour une chaîne de transport comprenant plusieurs trajets et parfois plusieurs modes différents, l'énergie affectée à l'envoi est sommée sur les différents trajets et divisé par le tonnage kilométrique total de l'envoi.

4.1 Consommations unitaires par mode et par trajet

4.1.1 VARIABILITE DES CONSOMMATIONS UNITAIRES DU TRANSPORT ROUTIER

Pour le mode routier, les consommations unitaires d'énergie calculées par envoi et par trajet tiennent compte de trois éléments :

La consommation unitaire est calculée en fonction du poids total du véhicule estimé selon sa capacité : la consommation varie entre 45,7 l/100 km pour un véhicule de 25 t. de charge utile soit 1,82 litre par tonne de CU / 100 km et 11,3 l/ 100 km pour un petit camion de 1,5 t. de CU soit 7,53 l/ tonne de CU ; le rapport varie de 1 à 4,1 pour la consommation par tonne de charge utile.

La consommation de carburant par envoi tient compte aussi d'un coefficient de parcours à vide mais celui-ci n'a pu être estimé que grossièrement, selon la catégorie de charge utile et le régime de transport : il varie de 20% pour les petits camions en compte d'autrui à 56 % pour les gros véhicules en compte propre, soit un rapport de 1 à 1,3.

Et surtout la consommation affectée à un envoi tient compte du taux de remplissage du véhicule (l'inverse du coefficient d'utilisation de la capacité du véhicule, rapport entre le poids du chargement et la charge utile) qui, peut varier de 1 (poids du chargement égal à la capacité) à 25 t. / 5 kg (véhicule de capacité maximum pour le plus petit chargement) soit un rapport de 1 à 5000.

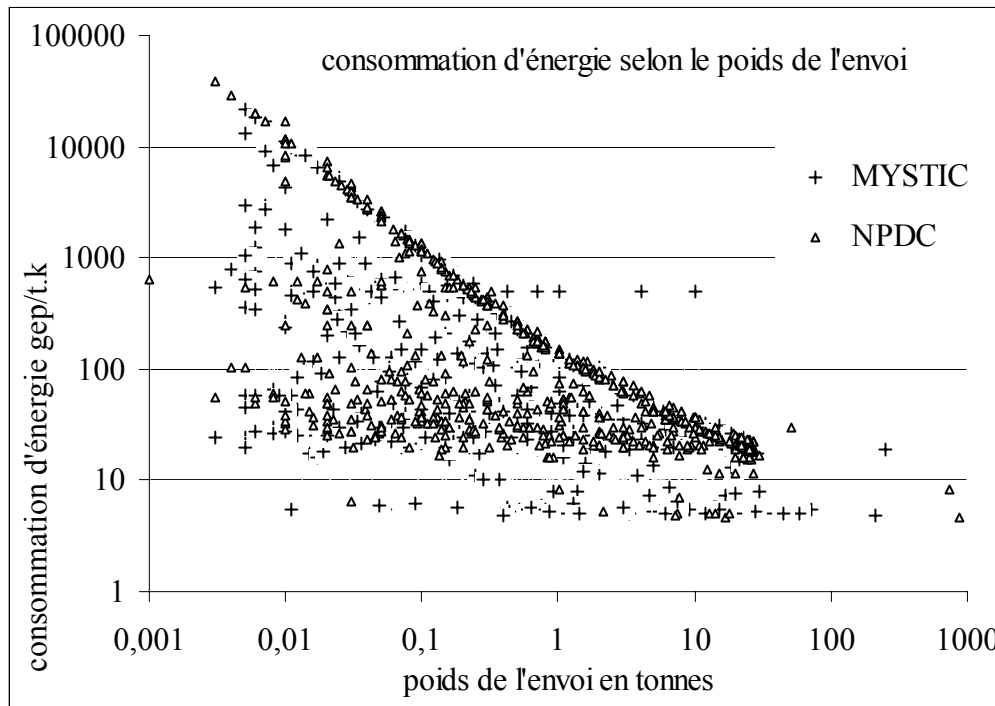
Les consommations routières unitaires, compte tenu des retours à vide, varient entre 20 gep/tkm (consommation minimum pour un véhicule transportant 25 t. en compte d'autrui, sans surcharge) et plus de 100 000 gep/tkm (consommation maximum pour le même véhicule transportant 5 kg en compte propre). Il est clair que c'est le poids du chargement qui pèse le plus dans cette dispersion des consommations unitaires.

4.1.2 CONSOMMATIONS UNITAIRES MOYENNES DES MODES NON ROUTIERS

Concernant les autres modes de transport, les consommations ont été estimées directement par application d'une consommation unitaire au tonnage kilométrique de l'envoi sur le trajet : il n'y a donc pas de dispersion.

On observe un triangle sur la figure 5, qui place les envois selon leurs consommations unitaires (en ordonnée) et leur poids (en abscisse). Les envois de poids importants ont tous une consommation à la tkm faible et peu variable, de l'ordre de 20 tkm pour plus de vingt tonnes ; quand le poids de l'envoi diminue sa consommation unitaire est plus variable et en moyenne plus élevée. Seuls quelques envois aériens de Mystic débordent de ce triangle.

Figure 6 : Consommations unitaires d'énergie selon le poids de l'envoi.



Les consommations unitaires moyennes par mode, récapitulées dans le tableau ci-dessous, sont très proches entre Mystic et NPDC, malgré des échantillons sensiblement différents.

Tableau 14 : caractéristiques moyennes des trajets et consommations unitaires par mode

Mode de transport	Nombre d'observations		Distance / trajet*		Tonnes / envoi*		Consom. ⁴⁴ en Gep / tkm	
	NPDC	Mystic	NPDC	Mystic	NPDC	Mystic	NPDC	Mystic
Route (ensemble)	971	1202	231	336	5.91	2,90	30	30
Dont < 3,5 t. de CU	123	281	146	208	0.39	0,30	96	96
De 3,5 à < 6,5 t. de CU	105	98	123	190	0.39	0,61	107	107
>= 6,5 t. de CU	743	823	261	396	7.61	4,06	27	27
Ferroviaire	14	3	423	818	508	0,32	5	9
Transport combiné	12	3	861	431	22.5	19,2	5	5
Fluvial	2	4	1314	610	10.2	12,6	12	13
Aérien	5	86	5434	3542	0.08	0,25	497	504
Maritime	16	104	6192	8585	188	10,4	5	5
Ensemble	1020	1403	362	831	15.9	3,29	7	13

*L'échantillon Mystic, contrairement à NPDC, est exclusivement composé d'exportations

La différence des consommations ferroviaires entre les deux enquêtes s'explique par l'importance respective des transport par wagons ou trains complets ; la consommation moyenne (tous modes confondus) diffère aussi entre les deux enquêtes, en raison du poids relatif des différents modes dans les deux échantillons. Pour la route, on observe que les consommations moyennes estimées sont très différentes selon le type de véhicules : de 100 gep/tkm pour les petits véhicules à 27 pour

⁴⁴ Les consommations unitaires moyennes sont pondérées par le tonnage kilométrique de l'envoi : il s'agit donc bien ici d'une consommation moyenne par mode, au sens du total des consommations affectées aux envois, divisé par le total des tkm de ces envois.

les gros. Le tableau suivant indique les consommations unitaires de la route selon le régime de transport.

Tableau 15 : caractéristiques moyennes et consommations routières unitaires selon le régime

Régime de transport	Nombre d'observations		Distance / trajet		Tonnes / envoi		Consom. en Gep / tkm	
	NPDC	Mystic	NPDC	Mystic	NPDC	Mystic	NPDC	Mystic
Compte propre	160	65	74	235	3.35	3.18	34	36
Compte d'autrui	811	1137	262	747	6.41	2.88	28	30
Ensemble des trajets routiers	971	1202	231	689	5.91	2.90	30	30

Dans les deux enquêtes le transport routier pour compte propre consomme nettement plus que le compte d'autrui : 20 et 21 % de plus, respectivement dans Mystic et NPDC.

4.2 Consommations unitaires par envoi selon la chaîne physique

L'intérêt de l'enquête chargeur est la description qu'elle donne des chaînes de transport, au sens de la succession des trajets, des véhicules et parfois des modes. Cet outil nous permet donc d'estimer la consommation d'énergie d'un envoi non plus sur un trajet (avec un seul véhicule) mais sur l'ensemble de la chaîne. Le tableau ci-dessous indique les consommations moyennes estimées pour les catégories 'habituelles' de chaînes de transport.

Tableau 16 : Consommations unitaires moyennes selon la chaîne de transport

Mode de transport	Nombre d'observations		Distance parcourue		Tonnes / envoi		Consom. en Gep / tkm	
	NPDC	Mystic	NPDC	Mystic	NPDC	Mystic	NPDC	Mystic
Route (ensemble)	594	424	364	640	5,20	4,47	28	31
<i>Dont route Compte Propre</i>	<i>151</i>	<i>44</i>	<i>72</i>	<i>235</i>	<i>3,47</i>	<i>3,51</i>	<i>35</i>	<i>38</i>
<i>route CA, trajet unique</i>	<i>206</i>	<i>173</i>	<i>368</i>	<i>676</i>	<i>10,4</i>	<i>10,1</i>	<i>24</i>	<i>27</i>
<i>route CA, trajets multiples.</i>	<i>237</i>	<i>207</i>	<i>546</i>	<i>797</i>	<i>1,77</i>	<i>0,57</i>	<i>43</i>	<i>57</i>
Ferroviaire	<i>13</i>	<i>2</i>	<i>507</i>	<i>818</i>	<i>492</i>	<i>(0,32)</i>	<i>(5)</i>	<i>(9)</i>
Combiné rail-route	<i>8</i>	<i>0</i>	<i>1280</i>	<i>-</i>	<i>23,7</i>	<i>-</i>	<i>(6)</i>	<i>-</i>
Channel ou ferry	<i>0</i>	<i>36</i>	<i>-</i>	<i>997</i>	<i>-</i>	<i>1,26</i>	<i>-</i>	<i>45</i>
Fluvial	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>1027</i>	<i>-</i>	<i>12,6</i>	<i>-</i>	<i>(13)</i>	<i>-</i>
Aérien	<i>4</i>	<i>67</i>	<i>7101</i>	<i>4559</i>	<i>0,10</i>	<i>0,29</i>	<i>495</i>	<i>500</i>
Maritime	<i>19</i>	<i>103</i>	<i>5644</i>	<i>9342</i>	<i>159</i>	<i>10,3</i>	<i>5</i>	<i>5</i>
Ensemble	639	632	578	2551	19,9	4,95	7	13

(Les chiffres en petits caractères correspondent à des échantillons de moins de 30 observations)

On note que les consommations unitaires par chaînes sont proches de celles qui ont été calculées par trajet, en particulier pour les chaînes ferroviaires, combinées, maritimes et aériennes : les parcours terminaux comptent peu dans la consommation moyenne, compte tenu de la pondération par les tkm.

4.3 Consommations unitaires rapportées aux distances parcourues et à vol d'oiseau

La distance parcourue est différente selon le mode utilisé, en particulier selon la densité du réseau utilisé pour un trajet. De plus, dans une chaîne de transport, les trajets qui se succèdent peuvent être plus ou moins alignés : il est souvent nécessaire de faire un détour par une plate-forme pour

regrouper un envoi et massifier un flux. Il est donc intéressant de rapporter les consommations d'énergie à une distance à vol d'oiseau, identique pour les différents modes et indépendante de l'itinéraire. Dans le tableau suivant, les consommations unitaires en gep/tkm sont les mêmes que dans le tableau précédent ; elles sont comparées aux consommations par tkm à vol d'oiseau. L'écart entre les consommations unitaires par tkm parcourues et par tkmVO (à vol d'oiseau) est lié uniquement à l'écart entre les distances (parcourues et à vol d'oiseau).

Tableau 17 : Comparaison des consommations unitaires moyennes, selon la chaîne de transport

Mode de transport	Nombre d'observations		Distance à vol d'oiseau		Consom. en Gep / tkm		Consom. en Gep / tkmVO	
	NPDC	Mystic	NPDC	Mystic	NPDC	Mystic	NPDC	Mystic
Route (ensemble)	594	424	269	500	28	31	36	40
Dont route Compte Propre	151	44	54	188	35	38	46	47
Route CA, trajet unique	206	173	298	551	24	27	29	34
Route CA, plusieurs trajets.	237	207	381	523	43	57	62	88
Ferroviaire	13	2	354	571	5	9	7	14
Combiné rail-route	8	0	791	-	5	-	10	-
Channel ou ferry	0	36	-	681	-	45	-	64
fluvial	1	-	514	-	13	-	25	-
Aérien	4	67	6825	4222	495	500	510	520
Maritime	19	103	3949	5553	5	5	8	11
Ensemble	639	632	428	1728	7	13	11	19

Ce tableau permet de rendre compte de la 'surconsommation' liée à l'allongement des distances, du fait des réseaux ou du fait des transbordements. Pour la route, ce rallongement et la surconsommation unitaire qui en résulte est de 29 % ; parmi les chaînes en compte d'autrui, on vérifie que cette surconsommation est plus importante pour les chaînes à trajets multiples (44 et 54 % respectivement pour NPDC et Mystic) que pour les chaînes à trajet unique (21 et 26 %).

De la même façon, il serait souhaitable de tenir compte d'une 'surconsommation' liée à la nécessité de transporter non seulement les marchandises mais aussi leur conditionnement et leur emballage. Ceci pourrait être fait assez facilement en poids, en tenant compte des poids brut et net de la marchandise, en revanche la prise en compte des surconsommations induites par le volume des emballages, qui est souvent la contrainte majeure, est beaucoup plus difficile à estimer.

Conclusion du chapitre : Les consommations unitaires

La très grande variabilité des consommations unitaires constatée pour le transport routier est liée principalement au poids du chargement transporté sur ce trajet ; elle se traduira, dans la suite de ce rapport, par une grande imprécision des calculs de consommations moyennes ; elle met ainsi en évidence la nécessité d'une approche rigoureuse pour quantifier ces phénomènes et l'inadéquation des consommations unitaires moyennes que nous avons dû adopter pour les modes non routiers, par manque d'information.

5 INFLUENCE DES PRATIQUES LOGISTIQUES SUR LES CONSOMMATIONS D'ENERGIE: TESTS DES HYPOTHESES

A partir des consommations unitaires d'énergie estimées pour les envois observés dans les enquêtes NPDC et MYSTIC, nous analysons l'impact des pratiques logistiques sur la consommation d'énergie en testant les hypothèses avancées au chapitre 1. Ces hypothèses ont été formulées indépendamment des tests qui pourraient être faits compte tenu des informations disponibles. Un premier travail de confrontation des hypothèses aux données disponibles a permis d'identifier celles que l'on pourra effectivement tester. Le travail de confrontation a permis de distinguer ainsi trois types d'hypothèses :

- le premier type est constitué par les hypothèses qui n'ont pas pu être testées parce que portant sur des pratiques logistiques qui sont hors du champ couvert par les enquêtes chargeurs.
- Le deuxième type est constitué par des hypothèses sur des pratiques logistiques qui ont fait l'objet de tests dont les résultats n'étaient pas statistiquement valides. Pour cette raison, ni les tests réalisés ni les résultats ne sont présentés ici.
- Les hypothèses du troisième type ont été testées avec des résultats relativement satisfaisants, parfois après avoir été reformulées en fonction des données disponibles. Ce sont donc les résultats des tests de ces hypothèses qui sont présentés dans ce chapitre. Lorsque les consommations estimées sont peu différentes, nous avons calculé l'intervalle de confiance⁴⁵ qui nous permet de préciser dans quelle mesure on peut retenir l'hypothèse ; enfin, dans ce chapitre comme au chapitre 4, les consommations d'énergie unitaires moyennes, en Gep/tkm (gramme équivalent pétrole par tonne kilomètre) ou Gep/tkmVO (par tkm à vol d'oiseau), sont pondérées par le tonnage kilométrique, alors que les autres valeurs moyennes, tels que les poids moyens, ne sont pas pondérés.

Pour les hypothèses que nous n'avons pas pu tester ou dont les résultats n'étaient pas probants, nous nous limiterons ici à indiquer la raison principale de leur abandon.

Hypothèse 1 (concentration spatiale des entreprises)

La concentration spatiale des entreprises entraîne une croissance des transports de marchandises dans la mesure où elle affecte le nombre et la longueur des maillons de la chaîne de transport, et donc une augmentation de la consommation d'énergie.

Cette hypothèse qui est probablement l'une des plus importantes pour l'évolution d'ensemble de la consommation d'énergie dans le transport de fret n'a pu être testée. Elle relève d'une autre approche que nous nous efforçons de mettre en œuvre par ailleurs.

Hypothèse 2 (massification des flux)

La centralisation ou la massification des flux sur des plates-formes logistiques entraîne une diminution de la consommation d'énergie du fait de la réduction du nombre de poids lourds en circulation.

Le concept de plate-forme logistique, lieu intermédiaire de groupage et /ou de dégroupage de la marchandise, n'avait pas été pris en compte dans les enquêtes chargeurs NPDC et Mystic. De nombreux traitements ont été réalisés pour tenter d'objectiver cette notion de plate-forme et son influence sur la consommation d'énergie ; mais les résultats obtenus n'étaient pas probants. C'est

⁴⁵ L'intervalle de confiance est calculé par les formules habituelles suivantes :
intervalle autour d'une moyenne estimée par m : $m \pm 2 \sigma (m) / (n)^{1/2}$
intervalle autour d'un pourcentage estimé par p : $p \pm 2[p(1-p)/n]^{1/2}$

donc le concept de groupage, plus adapté aux informations disponibles dans les enquêtes, qu'on a considéré pour tester cette hypothèse qui devient alors :

Le groupage des envois permet de réduire la consommation d'énergie en réduisant le nombre de poids lourds en circulation.

Le groupage consiste à réunir des envois soit provenant d'expéditeurs différents soit adressés à des destinataires différents, afin de constituer un chargement complet. Cette pratique permet, pour les petits envois, une diminution du nombre de camions en circulation et par conséquent une réduction des consommations d'énergie. Dans les enquêtes, les opérations de groupage sont observées au cours de l'envoi et non au départ, sinon il s'agit d'un seul envoi.

Le tableau suivant permet de comparer les caractéristiques moyennes des envois avec et sans groupage. Les consommations unitaires des envois avec groupage sont en moyenne supérieures à celles des envois sans groupage, aussi bien pour les données de l'enquête NPDC (avec groupage : 12,1 Gep/tkm ; sans groupage : 6,9 Gep/tkm) que pour celles de l'enquête MYSTIC (14,2 Gep/tkm avec groupage et 11,2 Gep/tkm sans groupage). Le fait de rapporter cette consommation aux distances à vol d'oiseau diminue l'écart mais la consommation unitaire moyenne des envois avec groupage reste supérieure à celle des envois sans groupage.

Tableau 18 : consommations unitaires moyennes avec ou sans groupage

	Nombre d'observations		Tonnes / envoi		Dist. parcourue / envoi (km)		Consommation en Gep / tkm		Consommation Gep / tkm VO	
	NPDC	Mystic	NPDC	Mystic	NPDC	Mystic	NPDC	Mystic	NPDC	Mystic
Sans groupage	399	212	28,7	10,1	517	1815	6,9	11,2	10,8	15,5
Avec groupage	240	420	5,26	2,38	681	2926	12,1	14,2	15,3	20,5
Ensemble	639	632	19,9	4,96	578	2552	7,1	13,3	11,0	19,0

Les envois qui subissent un groupage ont, au départ, un poids plus faible que les envois non groupés, ils parcourent des distances plus importantes et leurs consommations unitaires sont sensiblement plus importantes : rapportées aux distances à vol d'oiseau, la consommation unitaire d'un envoi groupé, comparé à celle d'un envoi non groupé est, en moyenne, 42% plus élevée dans l'échantillon NPDC et 32% dans Mystic.

Le tableau suivant, plus homogène, traite uniquement des envois routiers. Le poids moyen des envois groupés est toujours très inférieur à celui des envois non groupés, la distance moyenne supérieure et la consommation unitaire nettement supérieure. Pour les envois routiers qui passent par un groupage, les consommations unitaires rapportées aux distances parcourues sont en moyenne 28 et 29 % plus élevées que celles qui ne passent pas par un groupage, respectivement pour NPDC et Mystic. Rapportés aux distances à vol d'oiseau, ces écarts sont respectivement de 50 et 38%.

Tableau 19 : consommations unitaires moyennes des envois routiers, avec ou sans groupage

	Nombre d'observations		Tonnes / envoi		Dist. parcourue / envoi (km)		Consommation en Gep / tkm		Consommation Gep / tkm VO	
	NPDC	Mystic	NPDC	Mystic	NPDC	Mystic	NPDC	Mystic	NPDC	Mystic
Sans groupage	374	154	7,5	11,2	242	572	27,2	28,9	34,8	36,5
Avec groupage	220	270	1,2	1,1	314	757	34,8	37,4	52,1	50,4
Ensemble	594	424	19,9	4,8	269	689	27,9	30,7	36,4	39,5

Bien entendu, ceci ne signifie pas que, pour un envoi de poids donné, le fait d'avoir recours à un groupage va entraîner une consommation d'énergie supérieure. Si les consommations des envois non groupés sont en moyenne inférieures à celles des envois groupés c'est que, en moyenne, le

chargement des envois regroupés dans un même véhicule reste inférieur au tonnage des envois non groupés, probablement en raison de la nature des produits transportés.

Pour saisir l'influence du groupage sur la consommation d'énergie à poids d'envoi constant, il faut tenir compte d'une part de l'augmentation du poids du chargement et d'autre part de l'allongement des distances. Sur l'ensemble des trajets, le poids moyen des envois qui ont bénéficié d'un groupage au départ de ce trajet ou sur un trajet précédent est de 1,0 tonnes dans NPDC et de 1,1 t. dans Mystic. Pour ces mêmes populations d'envois, le poids moyen du chargement est respectivement de 9,2 et 9,0 t.

Le tableau suivant permet d'estimer l'influence de ce chargement plus important sur la consommation unitaire : en reprenant les équations développées au chapitre 3, on peut estimer la consommation du véhicule qui transporterait uniquement l'envoi observé. La comparaison avec la consommation calculée avec le chargement moyen observé indique l'augmentation de consommation du véhicule induite par cette augmentation du poids de chargement (un doublement en litre / 100 km). En rapportant cette consommation du véhicule au poids du chargement (poids du chargement qui serait égal à celui de l'envoi en l'absence de groupage), puis en comparant ces consommations unitaires avec et sans groupage, on estime l'augmentation de la consommation unitaire qui résulterait si les envois qui ont été observés groupés avaient été transportés sans groupage : le facteur multiplicatif des consommations unitaires est de 4,26 pour NPDC et 3,92 pour Mystic.

Tableau 20 : Influence du groupage sur les consommations unitaires à distance constante

	NPDC		Mystic	
	avec groupage	sans groupage	avec groupage	sans groupage
	1,00	1,00	1,11	1,11
Poids du chargement (t.)	9,23	1,00	9,0	1,11
CU (t.)	9,13	6,91	9,10	7,01
poids à vide (t.)	9,27	1,51	9,18	1,87
Poids total (t.)	18,5	2,51	18,2	2,98
Consom./véhicule (l./100 km)	26,5	12,2	26,2	12,7
sans / avec groupage	0,46		0,48	
Consom./ tonne (l./100 km)	2,9	12,2	2,9	11,4
sans / avec groupage	4,26		3,92	

Pour tenir compte à présent de l'allongement des distances qu'entraîne le groupage, nous analysons, à partir du tableau 19, le rapport entre les consommations unitaires rapportées à la distance parcourues et à la distance à vol d'oiseau qui mesure l'allongement de la distance parcourue par rapport à la distance à vol d'oiseau. Pour les envois routiers de Mystic, ce rapport vaut 1,263 pour les envois non groupés (154 observations) et 1,348 pour les envois groupés (270 observations). Pour les envois routiers de NPDC ces deux rapports valent respectivement 1,279 (374 obs.) et 1.497 (220 observations). La surconsommation liée à l'allongement des distances pour groupage est le rapport de ces deux rapports soit 7% dans Mystic et 17% dans NPDC. Ce facteur est faible au regard de l'effet 'poids du chargement' analysé précédemment.

On peut ainsi estimer que si les envois observés 'avec groupage' avaient été transportés sans groupage ils auraient consommé entre trois et quatre fois plus d'énergie. Ceci ne constitue pas vraiment une 'mesure' de l'effet du groupage car il est difficile de préciser ce qui se serait passé si les envois n'avaient pas été groupés. C'est cependant une indication plus réaliste de l'effet du groupage que celle qui consisterait à comparer simplement les consommations unitaires moyennes des envois avec ou sans groupage.

Tableau 21 : Influence du groupage sur les consommations unitaires (effet poids du chargement / effet distance)

	NPDC	Mystic
Effet poids du chargement	4,26	3,92
Effet distance	1,17	1,07
Effet total du groupage	3,64	3,66

Hypothèse 3 (possibilités d'utilisation du rail)

La centralisation ou massification des flux offre des possibilités d'utilisation du rail et des transports combinés (rail-route, mer-rail, mer-route, air-route, fleuve-route) qui sont des modes plus économes en consommation d'énergie par rapport au tout route.

Cette hypothèse n'a pu être testée en raison du faible nombre d'observations de chaînes ferroviaires.

Hypothèse 4 (polarisation des sites logistiques)

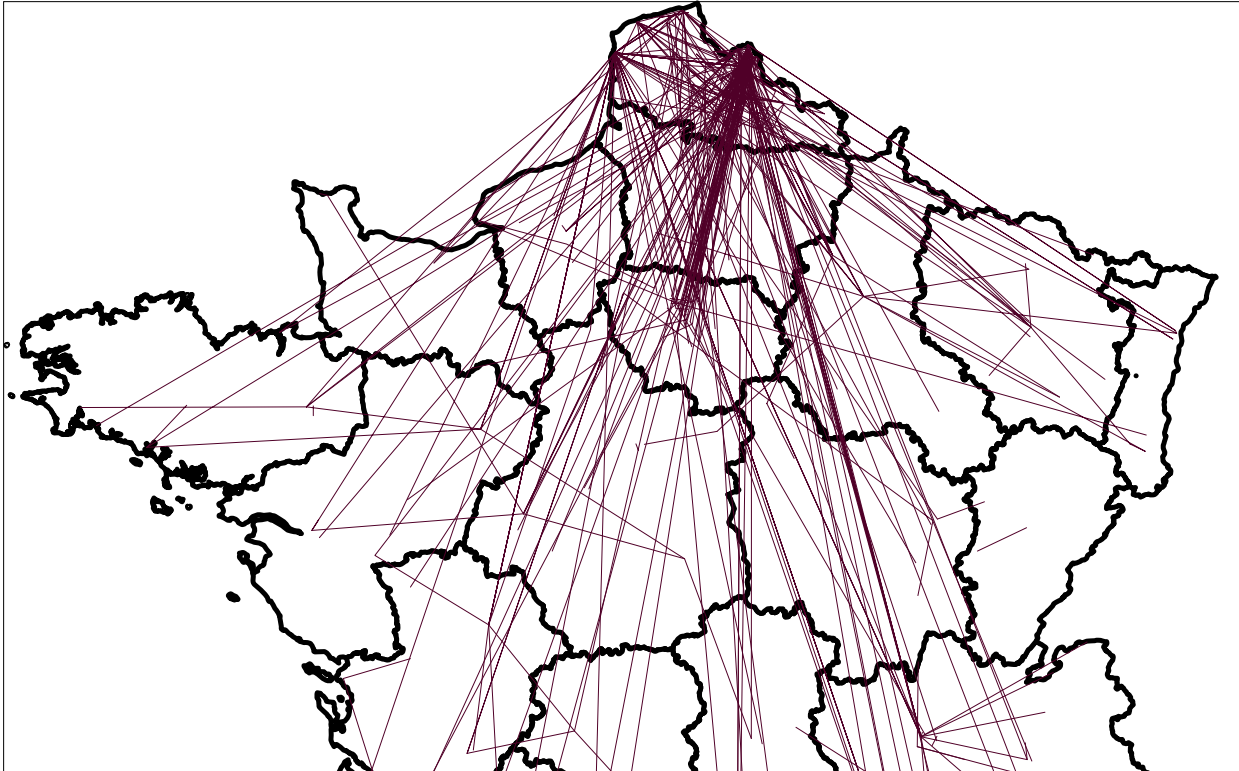
La polarisation des sites logistiques et la massification - centralisation conduisent à une concentration des flux de marchandises sur certains axes et sites logistiques et entraînent la saturation et la congestion de ces axes et régions logistiques, ce qui a pour effet une augmentation de la consommation énergétique.

L'approche suivie ne permet pas d'apprécier ni la congestion ni son influence sur la consommation d'énergie ; en revanche les cartes ci-dessous, réalisées avec le logiciel Mapinfo, montrent la polarisation des trajets recensés dans l'enquête NPDC ; chaque trajet est représenté par un segment reliant son origine à sa destination (trajets non pondérés et avant affectation sur le réseau). Dans la région NPDC, on voit une concentration des trajets sur les agglomérations de Lille – Roubaix – Tourcoing et Boulogne mais on peut se demander si la polarisation économique de cette région n'a pas été amplifiée par l'échantillonnage, pour des raisons de commodités de l'enquête.

Figure 7 : Trajets de l'enquête NPDC - concentration des émissions de la région d'origine

La carte suivante montre, pour la même enquête mais en changeant l'échelle, une forte concentration du flux sur l'axe Nord Sud (Lille Paris), une certaine polarisation sur l'agglomération parisienne et, dans une moindre mesure sur Lyon.

Figure 8 : Trajets de l'enquête NPDC - polarisation des flux sur l'axe Lille Paris



La polarisation des flux et la concentration des points de rupture (extrémités des trajets) que semble confirmer ces cartes, en particulier sur la région parisienne, pourrait être affinée par une affectation de ces trajets sur les réseaux. En revanche, l'estimation de la contribution de ces flux de fret à la congestion nécessiterait des données sur la circulation des voyageurs.

Hypothèse 5 (externalisation et parcours de nuit)

Lorsque le transport de fret est confié à un prestataire logistique (externalisation des activités logistiques), les trajets sont effectués de nuit sur des routes plus dégagées, ce qui pourrait avoir des effets positifs sur la consommation d'énergie.

On suppose que les transports de nuits permettent un meilleur étalement des déplacements et donc une meilleure utilisation de la capacité des infrastructures, des routes plus dégagées, des gains de temps et une moindre consommation d'énergie. Mais les informations disponibles pour calculer les consommations d'énergie ne nous permettent pas de vérifier cette supposition. Nous ne pouvons apprécier ici que *l'influence de l'externalisation du transport sur la proportion de trajets de nuit.*

A partir des variables 'heure de départ' et 'heure d'arrivée', la règle suivante a été établie : les trajets sont considérés de nuit s'ils sont effectués entre 21h et 6h ; lorsque la durée des trajets dépassent 48h, ils sont considérés comme des trajets de jour et dans les autres cas, si la durée du trajet effectuée la nuit est supérieure ou égale à celle effectuée le jour, le trajet est considéré de nuit. Il faut noter que ces variables heures de départ et d'arrivée sont mal renseignées dans l'enquête, ce qui entraîne une forte proportion d'observations pour lesquelles on ne sait pas si le trajet a été fait de nuit ou de jour.

Tableau 22 : Importance des trajets de nuit selon le régime de transport

	NPDC		MYSTIC	
	Compte Propre	Compte d'Autrui	Compte Propre	Compte d'Autrui
Nombre d'observations	89	272	43	397
Trajets de nuit (intervalle de confiance)	17% (9% - 25%)	27% (22% - 32%)	26% (13% - 39%)	29% (25% - 33%)
Autres trajets (intervalle de confiance)	83% (75% - 91%)	74% (68% - 78%)	74% (61% - 87%)	71% (67% - 75%)

NB : Ces observations comportent un grand nombre de données manquantes : 762 pour MYSTIC et 610 pour NPDC.

Sur le Tableau 23 on observe que la proportion des trajets de nuit est plus importante en compte d'autrui qu'en compte propre. Selon les données de l'enquête NPDC le pourcentage des trajets effectués de nuit s'élève à 27% en compte d'autrui, contre 17 % en compte propre et, dans l'enquête MYSTIC, les proportions de trajets de nuit en compte d'autrui et en compte propre s'élèvent à 29% et 26% respectivement. Ces résultats semblent confirmer que les trajets de nuit sont plus fréquents lorsque le transport est sous-traité ; toutefois, si on tient compte de la précision des estimateurs, on constate un recouvrement des intervalles de confiance : on ne peut donc pas considérer que notre hypothèse est retenue au seuil de 95%. L'externalisation du transport, semble favorable aux trajets de nuit mais ceci devrait être confirmé avec une enquête plus importante.

Hypothèse 6 (Sites avancés de logistique)

La réalisation des activités logistiques par des prestataires logistiques dans ou à côté des usines entraîne une économie d'énergie suite à une réduction du transport entre l'entrepôt fournisseur et la chaîne de montage de l'industriel.

Cette hypothèse n'a pu être testée ici : elle relève d'une autre approche.

Hypothèses 7 et 8 (Intégration des activités logistiques dans l'entreprise)

7 L'intégration des activités logistiques dans l'entreprise entraîne une augmentation de la consommation d'énergie du fait de la multiplication des transports liée aux pratiques de la production en 'Juste à temps'.

8 L'intégration des activités logistiques dans l'entreprise est une condition nécessaire au 'Juste à temps' mais non suffisante.

Ces hypothèses 7 et 8 n'ont pu être testées ici : elles relèvent d'une autre approche.

Hypothèse 9 (Influence du 'juste à temps' sur la consommation d'énergie)

Les pratiques de 'Juste à temps' multiplient les transports, c'est à dire des envois plus petits et plus fréquents, ce qui entraîne une augmentation de la consommation d'énergie.

La variable utilisée ici pour définir le 'Juste à Temps' est (au niveau de l'envoi) le délai maximal, en jours, demandé par le client pour la livraison de produits. Le premier résultat est que le poids de l'envoi semble plus faible lorsque le délai demandé par le client pour la livraison du produit est court (Tableau 23) : le poids moyen des envois non urgents, dont le délai de livraison est de plus de trois semaines, est nettement supérieur à celui de l'ensemble des envois (69 tonnes contre 10 t. en moyenne dans NPDC et 5, 8 t. contre 3,7 t ; dans Mystic).

On peut faire un rapprochement entre les délais de livraison demandés et le mode de transport utilisé : pour un délai supérieur à trois semaines, il s'agit souvent d'envois internationaux et le transport maritime peut être utilisé alors que, pour un délai inférieur à une semaine, c'est le transport routier qui s'impose souvent. Ce résultat confirme bien l'hypothèse selon laquelle les pratiques de JAT concernent essentiellement de petits envois. On constate aussi que la majorité des envois ont un délai de livraison d'une semaine maximum : 68% des envois dans l'échantillon NPDC et 29% dans Mystic, composé uniquement d'exportations. Ceci confirme une généralisation relative des pratiques de JAT pour les flux intérieurs.

Tableau 23 : Poids moyen par envoi observé selon le délai maximal demandé pour la livraison (tonnes)

Délai de livraison	NPDC			Mystic		
	Nombre d'observ.	Poids moyen	Intervalle confiance	Nombre d'observ.	Poids moyen	Intervalle confiance
Au plus 1 semaine	199	2,7	1,9 – 3,5	81	3,2	1,7 – 4,6
De 2 à 3 semaines	64	3,0	1,4 – 4,6	82	1,3	0,6 - 2,0
Plus de 3 semaines	31	6,9	0 - 198	113	5,8	1,8 – 9,8
Ensemble	294	9,9	0 – 23,5	276	3,7	2,0 – 5,4

Lorsque les entreprises pratiquent le JAT, qui implique une forte réduction des stocks et des délais de livraison courts, les consommations d'énergie sont plutôt élevées. Sur le Tableau 24, on observe en effet que les consommations unitaires semblent nettement décroissantes avec le délai de livraison : les consommations moyennes d'énergie sont plus faibles pour les envois les moins urgents car c'est sur ce type de transports qu'interviennent les modes ferroviaire et maritime. Cependant, pour ce tableau comme pour le précédent, la très faible précision des estimateurs ne permet pas de conclure définitivement.

Tableau 24 : consommations unitaires (Gep/tkmVO) selon le délai maximal demandé pour la livraison

Délai de livraison	NPDC			Mystic		
	Nombre d'observ.	conso. unit moyenne	Intervalle confiance	Nombre d'observ.	conso. unit moyenne	Intervalle confiance
Au plus 1 semaine	199	43	0 - 1108	81	50	0 - 1424
De 2 à 3 semaines	64	19	0 - 1842	82	68	0 - 2263
Plus de 3 semaines	31	8,8	0 - 5060	113	25	0 - 3072
Ensemble	294	10	0 - 992	276	26	0 - 1510

Hypothèse 10 (Influence des TIC sur la consommation)

*Le recours aux outils et techniques de collaboration logistique, permet une réduction de la consommation d'énergie du fait d'une diminution du nombre de véhicules en circulation et des véhicules*kilomètres grâce à des prévisions fiables et à l'optimisation du système de transport (minimisation des parcours à vide, optimisation de la charge transportée, regroupement des livraisons, partage des chargements, collecte ou livraison des marchandises avec d'autres entreprises, etc).*

Parmi les outils et techniques de collaboration logistique utilisés actuellement par les entreprises avec leurs clients et leurs transporteurs, ce sont l'EDI (Echange de Données Informatisées) et le réseau informatique qui ont été repérés dans les enquêtes. Les tests portent donc sur ces deux moyens de communication. L'hypothèse 10 devient alors :

Le recours des entreprises à l'EDI ou au réseau informatique pour communiquer avec leurs clients ou donneurs d'ordre et leurs transporteurs permet une réduction des consommations d'énergie.

Pour les données de l'enquête NPDC, deux variables ont été créées indiquant si l'entreprise a communiqué par EDI ou par réseau informatique avec :

- ses clients et/ou donneurs d'ordre ;
- ses prestataires logistiques et transporteurs.

Pour MYSTIC seule l'information concernant les communications avec les transporteurs était disponible.

La communication par EDI ou par réseau informatique des entreprises avec leurs clients est très répandue. Selon l'enquête NPDC, 43 % des établissements ont ce type de communication avec leurs clients. En revanche, ce type de communication est encore peu répandu avec les transporteurs (tableau 25) : 13% seulement des observations dans NPDC (85 envois sur 633) et 35% dans Mystic (219 sur 632). On voit aussi que lorsque les chargeurs utilisent ces moyens pour communiquer avec leurs transporteurs, ils ont recours dans les mêmes proportions aux opérations de groupage que lorsqu'ils ne les utilisent pas⁴⁶. Ces modes de communication avec les transporteurs ne semblent donc pas augmenter réellement les opérations de groupage ou de regroupement des livraisons.

Tableau 25 : Fréquence du groupage selon que le chargeur communique ou non avec ses transporteurs par EDI ou par réseau informatique, tous modes (en% des envois)

Communication par EDI ou réseau avec les transporteurs	NPDC		Mystic	
	NON	OUI	NON	OUI
Nombre d'observations.	548	85	413	219
Dont envois groupés	39%	38%	67%	65%
envois non groupés	61%	62%	33%	35%

De même, l'utilisation du réseau informatique ou de l'EDI pour communiquer avec les clients (tableau 26) ou les transporteurs (tableau 27) ne se traduit pas par un poids de chargement⁴⁷ plus élevé et donc par une optimisation de la charge transportée.

Tableau 26 : Poids moyen du chargement (en t.) sur les trajets routiers selon que le chargeur communique avec ses clients par EDI ou réseau informatique (Données NPDC)

Communication par EDI ou réseau	Nombre d'obs.	Poids moyen (t.)	Intervalle de confiance (t.)
OUI	421	8,3	7,5 – 9,2
NON	544	8,5	7,8 – 9,2

Selon ces résultats, lorsque le chargeur communique avec son client ou son transporteurs par réseau informatique ou EDI, le poids moyen du chargement n'est pas significativement différent. Il serait plutôt un peu plus faible pour la communication avec le client et un peu plus élevé pour la communication avec le transporteur.

Tableau 27 : Poids du chargement sur les trajets routiers selon que les entreprises communiquent avec leurs transporteurs par EDI ou par réseau informatique, en tonne

Communication par EDI ou réseau	NPDC			MYSTIC		
	Nombre d'obs.	Poids moyen (t)	Intervalle de confiance (t.)	Nombre d'obs.	Poids moyen (t)	Intervalle de confiance (t.)
OUI	148	8,5	7,1 – 9,9	406	8,7	7,9 – 9,5
NON	813	8,4	7,8 – 9,0	795	7,3	6,8 – 7,8

Ces moyens de communication ne semblent pas avoir d'effet clair sur les consommations d'énergie. Selon nos estimations (tableaux 28 et 29) la consommation unitaire moyenne serait légèrement plus élevée lorsque les chargeurs communiquent par EDI ou réseau informatique avec leurs clients ou transporteurs que lorsqu'ils n'ont pas recours à ces moyens de communication. Concernant la communication avec les clients, la consommation unitaire moyenne estimée est de 11 Gep/ t.km lorsque le chargeur utilise ces moyens modernes contre 6,6 pour les autres cas ; Pour les communications avec les transporteurs, lorsque le chargeur utilise ces moyens la consommation unitaire moyenne d'énergie est estimée à 10 Gep/tkm contre 7,4 dans les autres cas (NPDC) et respectivement 16 contre 12 Gep/t.km (données MYSTIC). Mais ces résultats sont loins d'être statistiquement significatifs au vu des intervalles de confiance.

⁴⁶ En revanche la proportion d'envois groupés est beaucoup plus importante dans l'échantillon Mystic (exportations) que dans NPDC

⁴⁷ Le poids du chargement dans le véhicule n'est connu que pour les trajets routiers

Tableau 28 : Consommations unitaires en Gep/tkm selon que les entreprises communiquent avec leurs clients par EDI ou par réseau informatique (données NPDC)

Communication par EDI ou réseau	Nombre d'obs.	Consommations unitaires (gep/tkm)	Intervalle de confiance (gep/tkm)
OUI	253	11,1	0 - 603
NON	352	6,6	0 - 616

Tableau 29 : Consommations unitaires en Gep/tkm selon que les entreprises communiquent avec leurs transporteurs par EDI ou par réseau informatique

Communication par EDI ou réseau	NPDC			MYSTIC		
	Nombre d'obs.	Consom. unitaires	Intervalle de confiance	Nombre d'obs.	Consom. unitaires	Intervalle de confiance
OUI	79	10,5	0 - 1563	219	16,4	0 - 1204
NON	522	7,4	0 - 450	410	12,1	0 - 982

Ces résultats non significatifs vont plutôt à l'encontre de notre hypothèse selon laquelle le recours aux outils et techniques de collaboration logistique entraînerait une réduction de la consommation d'énergie. Ainsi l'utilisation de ces moyens de communication ne se traduirait ni par une optimisation de la charge transportée, ni par une moindre consommation d'énergie. Toutefois il faut garder à l'esprit que les chargeurs qui communiquent avec ces moyens font peut-être transporter des produits plus coûteux, qu'ils produisent peut-être avec des logistiques plus tendues. Ainsi, sans être un facteur d'augmentation de la consommation d'énergie, les techniques de communication seraient plutôt le révélateur de certains comportements. Un échantillon plus important permettrait peut-être d'effacer cet éventuel effet de structure pour s'efforcer de dégager l'effet propre des techniques de communications.

Hypothèse 11 (Influence des livraisons directes sur la consommation)

Les logistiques de livraisons directes aux clients entraînent une augmentation du nombre de véhicules en circulation et donc une consommation d'énergie plus élevée.

Cette hypothèse a été testée en tenant compte uniquement du mode routier afin de faciliter les comparaisons ; la livraison est considérée comme directe lorsque l'envoi comporte un seul trajet et qu'il ne s'agit pas d'une tournée. Les observations, tant NPDC que MYSTIC, confirment que le poids de l'envoi est nettement plus élevé lorsque la livraison est directe (Tableau 30) : les livraisons directes impliquent des envois suffisamment importants pour qu'il ne soit pas indispensable de les regrouper.

Tableau 30 : Poids moyen de l'envoi selon que la livraison est directe ou non

Livraisons directes	Poids moyen de l'envoi, en tonne					
	NPDC			MYSTIC		
	Nombre d'obs.	Poids moyen (tonnes)	Intervalle confiance	Nombre d'obs.	Poids moyen (tonnes)	Intervalle confiance
OUI	303	9,1	7,9 - 10,3	191	9,8	5,3 - 14,4
NON	290	1,1	0,1 - 2,2	233	0,6	0,5 - 0,8
Ensemble	593	5,2	4,5 - 5,9	424	4,77	2,7 - 6,8

Compte tenu de la faible précision, les distances moyennes à vol d'oiseau sont peu différentes pour les envois en livraison directe ou non directe : les intervalles de confiance se recouvrent. Les distances parcourues semblent plus franchement différentes dans l'échantillon NPDC. Et surtout, le rapport entre la 'distance réelle' et la 'distance à vol d'oiseau' des envois semble plus important

lorsque la livraison n'est pas directe. Le rallongement de la distance parcourue par l'envoi est en moyenne plus important lorsque les livraisons ne sont pas directes car le recours à des trajets multiples rallonge la distance parcourue par rapport à une liaison directe.

Tableau 31 : Distances moyennes par envoi selon le type de livraison (directe ou non)

	NPDC		MYSTIC	
	Livraison directe		Livraison directe	
	OUI	NON	OUI	NON
Nombre d'observations	303	291	190	232
Distance moy. à vol d'oiseau (km)	246	294	510	490
Intervalle de confiance	215-277	260 - 328	457 - 563	447 - 533
Distance moy. Parcourue (km)	305	425	626	740
Intervalle de confiance	268 - 342	378 - 472	562 - 690	680 - 800
Distance parcourue/à vol d'oiseau	1,24	1,46	1,22	1,51

Enfin, sur la base des données observées (tableau ci-dessous), les livraisons directes semblent consommer moins d'énergie que les livraisons non directes ; non seulement notre hypothèse n'est pas validée mais il y a des présomptions pour la proposition inverse.

Tableau 32 : Impact des livraisons directes sur les consommations unitaires moyennes

Consommation d'énergie des envois, tous modes confondus	NPDC		MYSTIC	
	Livraison directe		Livraison directe	
	OUI	NON	OUI	NON
Nombre d'observations	306	301	190	232
Consom. unitaires (Gep/tkmVO)	29	62	34	88
Intervalle de confiance	0 - 422	0 - 1269	0 - 3412	0 - 1763
Consom. unitaires (Gep/tkm)	24	43	27	57
Intervalle de confiance	0 - 333	0 - 873	0 - 2776	0 - 879

Dans la logistique des livraisons directes, les poids des chargements sont plus importants et les distances parcourues moins importantes. Les consommations unitaires moyennes d'énergie semblent plus faibles pour les livraisons directes que pour les trajets multiples mais la précision des estimateurs de consommation unitaire est très faible.

Hypothèse 12, 13 et 14 (Cross docking)

12 Le cross-docking entraîne une moins bonne optimisation des palettes

13 Dans le cross-docking la moins bonne optimisation des palettes entraîne des véhicules moins remplis, donc plus de véhicules en circulation et donc une augmentation de la consommation d'énergie.

14 Par rapport aux livraisons directes le cross docking augmente les distances de transport.

Le cross docking n'a pu être saisi à partir des données des enquêtes.

Hypothèse 15 (Logistiques inversées)

Les logistiques inversées entraînent une augmentation de la consommation d'énergie.

Ces flux inversés ne sont pas saisis dans l'enquête.

Hypothèse 16 (Consommation du transport combiné rail-route)

La technique du transport combiné rail-route bénéficie, pour le parcours principal, des avantages du rail par rapport à la route qui consomme moins d'énergie que le tout route

Pour cette hypothèse, seules les données NPDC ont pu être exploitées car celles de MYSTIC ne contiennent pas d'observations 'rail-route'. En comparant la consommation d'énergie du transport combiné à celle des autres modes de transports terrestres (tableau 33), on observe que les consommations unitaires d'énergie des envois ferroviaires et du transport combiné rail-route semblent plus faibles que celles des chaînes entièrement routières.

Tableau 33 : Comparaison des consommations unitaires pour les envois par 'rail', 'combiné rail-route' et 'route, en Gep/tkm, en Gep/tkmVO et rapport des deux.

Mode de transport	consommations d'énergie par envoi, par mode			
	Nb d'obs.	consommations unitaires d'énergie		Rapport B/A
		A) en gep/tkm	B) en gep/t.kmVO	
Rail	13	5	7	1,4
Combiné rail-route	8	6	10	1,7
Route	594	28	36	1,3

Données NPDC

Cette hiérarchie des consommations unitaires moyennes selon le type de chaîne est la même pour les deux distances (en Gep/tkm ou en Gep/tkmVO) mais on constate que le surcroît de consommation énergétique de la route par rapport au combiné est plus important lorsqu'on le rapporte aux distances parcourues que par rapport aux distances à vol d'oiseau : le transport combiné rail-route, en allongeant la distance, réduit l'avantage énergétique⁴⁸.

Hypothèse 17 (Fréquence élevée des envois)

Les fréquences élevées des approvisionnement ou des livraisons sont un indicateur d'un usage intensif du transport routier, ce qui entraîne une augmentation de la consommation d'énergie.

Pour tester cette hypothèse nous croisons le mode principal de l'envoi avec les variables caractéristiques de la fréquence annuelle des envois de l'établissement. On observe que le mode routier assure plus de 90% des envois, ce qui démontre **une utilisation intensive du mode routier par les entreprises pour leurs livraisons** (Tableau 34). Toutefois ces chiffres ne montrent pas que la part de la route est plus importante pour les établissements qui expédient un plus grand nombre d'expéditions par an.

Tableau 34 : répartition modale des envois selon le nombre annuel d'envois de l'établissement

Chaîne modale	Nombre annuel d'envois de l'établissement						Ensemble
	< 1000 envois/an	1000-2000 envois/an	2 à 5000 envois/an	5 à 10 000 envois/an	10 à 20 000 envois/an	> 20 000 envois/an	
Envois non routiers	11	4	8	8	7	2	40
En pourcentage	9%	6%	5%	12%	10%	3%	8%
Envois routiers	114	64	141	61	67	64	511
En pourcentage	91%	94%	95%	88%	90%	97%	92%
Total envois	125	68	149	69	74	66	551
En pourcentage	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Données NPDC ; manquants : 89 ; Nombre total d'envois avec manquants : 640

⁴⁸ Rapellons que, dans cet exercice, l'efficacité énergétique des modes de transport non routiers ne reflète pas l'utilisation réelle de ces modes mais une valeur moyenne, notamment pour le fer (cf. p.42).

Hypothèse 18 (emballages)

La réduction de l'emballage, qui a un impact sur le poids et surtout le volume à transporter, permet de réduire la consommation d'énergie via la réduction de la circulation des poids lourds.

Les enquêtes ne saisissent pas les caractéristiques des emballages.

Hypothèse 19 (certification normes environnementales)

Les entreprises qui ont obtenu la certification de gestion environnementale (ISO 14001) ont une plus grande efficacité énergétique.

Les enquêtes ne saisissent pas cette certification.

Conclusion du chapitre 5 : tests des hypothèses

Parmi les comportements logistiques observés à travers ces tests, certains réduisent la consommation d'énergie et d'autres, au contraire, l'augmentent. Les choix logistiques des entreprises ayant un impact favorable sur la consommation d'énergie sont le groupage des envois et les livraisons directes. Le transport combiné rail-route et l'externalisation des activités logistiques semblent avoir aussi un effet favorable mais ces hypothèses restent à confirmer. A l'inverse, la pratique de 'Juste à Temps' semble avoir un impact défavorable sur la consommation d'énergie mais, là encore, cette hypothèse est à confirmer avec des données plus nombreuses. Pour d'autres comportements, tel l'usage des Technologies d'Information et de Communication, les tests ne donnent pas d'indication sur une quelconque influence en matière de consommation d'énergie.

Cet exercice montre qu'il est possible de traiter certains aspects de l'impact des choix logistiques sur la consommation d'énergie et il suggère de nombreuses analyses qui pourront être réalisées à partir des données de la future enquête ECHO. Il met aussi en évidence la nécessité d'améliorer le contenu de cette enquête pour une meilleure évaluation de la consommation d'énergie.

6 AMELIORATIONS A APPORTER A L'ENQUETE ECHO

Les précédentes enquêtes chargeurs suivaient les différents trajets de l'envoi, à l'exception des parcours ferroviaires mais elles n'avaient pas été conçues pour permettre d'analyser l'énergie consommée pour transporter les envois observés. Les lacunes portent sur les questionnaires trajets ou certaines informations supplémentaires sont nécessaires pour estimer l'énergie consommée. On introduira en particulier les caractéristiques du véhicule, ainsi que la notion de plate-forme logistique. Une plate-forme logistique est un lieu intermédiaire pour massifier certains flux de marchandises (groupage), pour éclater d'autres (dégrouper), pour réaliser différentes opérations logistiques (stockage, étiquetage, conditionnement, etc.). Le passage par plate-forme est devenu une pratique courante des entreprises. La massification des transports contribue à diminuer le nombre de véhicules en circulation et donc à économiser de l'énergie et à baisser les émissions de polluants. Avec les résultats de la nouvelle enquête il sera intéressant d'analyser l'impact de l'usage des plates-formes logistiques sur la consommation d'énergie via les transports.

6.1 Calcul des consommations (questionnaires trajets)

Un des objectifs de la nouvelle enquête ECHO 2003, est de permettre d'estimer, avec plus de précision que dans les précédentes enquêtes, les consommations d'énergie et émissions de polluants pour chaque envoi. La méthode d'estimation de l'énergie consommée pour transporter un envoi suivi, consiste à estimer la consommation du véhicule utilisé sur le trajet emprunté puis à en affecter une partie à l'envoi suivi, proportionnellement au poids de cet envoi dans le poids total du chargement de ce véhicule sur ce trajet et enfin à sommer sur les différents trajets pour connaître l'énergie consommée par un envoi sur l'ensemble de sa chaîne de transport. Dans les fiches trajets, la description des caractéristiques des véhicules était sommaire. Nous proposons ici quelques informations supplémentaires à collecter pour améliorer l'estimation de la consommation d'énergie sans pour autant surcharger trop cette enquête.

Variables à ajouter pour les trajets routiers

Il s'agit d'estimer la consommation d'un véhicule x km, selon la méthode développée au chapitre 2, en fonction de son poids total (poids vide estimé + poids du chargement) et de son âge et du type d'infrastructure (route ou autoroute). Les informations suivantes sont nécessaires.

- *Nature du point de départ et d'arrivée : introduire la notion de plate-forme logistique ;*
- *tonnage de charge utile*
- *nombre de camions ou de trajets (au cas où un même véhicule fait plusieurs aller-retour)*
- *type de traction diesel/essence*
- *équipements spécifiques consommateurs d'énergie (groupe frigo, climatisation, levage, autre)*
- *date (année et mois) de première mise en circulation (pour la norme de pollution)*
- *poids total des marchandises chargées (Cette question figurait déjà mais était mal renseignée)*
- *Taux de chargement du véhicule en volume*
- *Importance de la partie en ville des tournées de ramassage ou de livraison*
- *l'itinéraire privilégié : route/autoroute*
- *parcours à vide effectué par le camion avant ou après ce trajet*

Variables à ajouter pour les trajets ferroviaires

Pour le mode ferroviaire la possibilité d'estimer correctement la consommation d'énergie est liée aux données que la SNCF est en mesure de fournir. On considère qu'il y a un nouveau trajet à chaque composition d'un nouveau train. En revanche il n'est pas possible de connaître le nombre d'arrêts par trajets : les formules proposées dans MEET pour la consommation d'énergie devront

être adaptées. Les questions ajoutées dans le questionnaire ferroviaire pour estimer la consommation d'énergie sont les suivantes.

- *Au niveau de l'intervenant :*
 - i. *régime de transport (train complet ou lotissement) et*
 - ii. *régime de tarification (fret rapide, express ou éco.)*
- *Caractéristiques de trajets :*
 - i. *Kilométrage trajet (si possible distance réelle parcourue, estimation de la distance ferroviaire à l'étranger)*
 - ii. *Caractéristiques du train (Tare, mode de traction diesel / électrique)*
 - iii. *Poids total des marchandises chargées (train),*

Pour les parcours à vide avant et après ce trajet, il faudra estimer des coefficients moyens de parcours en charge et une dépense énergétique moyenne au km pour ces parcours à vide.

Variables à ajouter pour les trajets fluviaux

La méthode développée par le Citepa ne permet pas de relier la consommation d'énergie à un trajet donné, à moins de connaître la durée de ce trajet. La solution retenue consiste à demander directement à l'intervenant la consommation de son bateau sur ce trajet et la durée. Pour les non-réponses à la question sur les consommations, on cherchera à estimer des coefficients moyens de consommation par type de bateau en fonction de la durée du trajet.

- *Nature du point de départ et d'arrivée sur le réseau fluvial : introduire la notion de plateforme logistique*
- *Distance parcourue, nombre d'écluses et consommation de carburant sur ce trajet (litres de fuel).*
- *Type de bateau : automoteur, convoi poussé ou remorqué (à préciser),*
- *Puissance et âge des moteurs, charge utile, consommation moyenne (litres de fuel / heure).*
- *Poids total des marchandises chargées,*
- *(Taux de chargement du bateau en volume)*
- *Parcours à vide : distance et temps passé en circulation à vide avant et après ce trajet*

Variables à ajouter pour les trajets maritimes

Compte tenu des problèmes soulevés au chapitre 2, il semble préférable de demander dans le questionnaire trajet de l'enquête, les consommations d'énergie du navire. D'autre part, en cas de non réponse, on pourra retrouver sa consommation, par l'intermédiaire d'une base de données, à partir de son immatriculation.

- *Type de bateau (vrac sec ou liquide, generl cargo, porte conteneur, lolo, autre à préciser).*
- *Nom du bateau,*
- *Caractéristiques : jauge brute(TJB), age, Tonnes de port en lourd(DWT), vitesse de croisière, consommation journalière des moteurs principaux et moteurs auxiliaires.*
- *Nombre d'escales intermédiaires, durée totale de ces escales, distance parcourue.*
- *Poids total des marchandises chargées ou nombre d'EVP pleins (trajet principal).*
- *Type de transport (ligne régulière, tramping ou ligne spécialisée)*
- *En cas de tramping ou ligne spécialisée : distance parcourue à vide, avant ou après le trajet.*

Variables à ajouter pour les trajets aériens

Le fret aérien est transporté à 80 % dans la soute des avions qui circulent avant tout pour les voyageurs ; il est donc nécessaire, pour lui attribuer un impact sur l'environnement, de tenir compte du type de vols, cargos ou mixtes, pour leur attribuer des règles d'affectation à l'envoi de l'énergie consommée par l'avion sur le trajet. Dans le cas des avions cargos, la consommation d'énergie d'un

vol peut être attribuée en totalité au fret et, pour attribuer à notre envoi l'énergie qui lui revient, nous pouvons appliquer la même règle que pour les envois par la route : le rapport entre le poids de notre envoi et le poids total du chargement⁴⁹. Dans le cas du fret qui circule sur des vols mixtes, compte tenu des données disponibles il sera envisageable soit de n'attribuer à l'envoi suivi que la consommation marginale de carburant liée au poids de l'envoi soit de lui attribuer la part de consommation proportionnelle au poids de l'envoi dans l'ensemble du chargement de l'avion.

- *Type d'avion.*
- *Caractéristiques du vol (entre les ports d'embarquement et de débarquement de l'envoi suivi) : type de vol (cargo ou mixte), nombre d'escales intermédiaires, durée totale de ces escales, distance parcourue (miles), quantité de carburant consommé sur ce vol.*
- *Poids total des marchandises chargées*
- *En cas de vol mixte : nombre de voyageurs (sur le vol principal).*
- *Taux de remplissage en volume de la capacité " marchandises " de l'avion*
- *En cas de vol à la demande : distance parcourue à vide, avant et après le trajet.*

6.2 Autres choix logistiques à prendre en compte

Utilisation de l'EDI pour une meilleure planification des flux (GPA, ...)

Avec le développement de l'externalisation logistique et de la tendance à la globalisation, l'utilisation des outils et technique de communication entre entreprises devrait s'accroître. L'utilisation de l'EDI constitue le premier outil de collaboration entre entreprises. Ce standard s'appuie aujourd'hui sur des technologies Internet (Web/EDI) ; ce qui rend accessible l'EDI au plus grand nombre. Parmi les outils et techniques de collaboration logistique entre entreprises, il faut mentionner aussi la GPA, le CPFR, les modules de traçabilité (tracing et tracking), les places de marchés électroniques, les outils informatique de planification et de gestion de la production (GPAO). Il convient de rappeler que dans la grande distribution en France, la pratique de la GPA est devenue courante. L'usage de ces moyens de communications permet d'une part le développement des collaborations commerciales et techniques entre entreprises et d'autre part une meilleure planification des flux de transport. L'optimisation des transports via le développement de ces techniques aura un impact sur la consommation d'énergie qu'il convient d'observer.

Audit de management environnemental

De plus en plus de grandes entreprises (industriels, distributeurs, prestataires logistiques) veulent obtenir le certificat de bonne gestion environnementale ISO 14001. On peut faire l'hypothèse que les entreprises qui ont obtenu ISO 14001 ont une plus grande efficacité énergétique. Il serait intéressant de connaître les entreprises certifiées ou en cours de certification.

Emballage

Le type d'emballage utilisé pour l'envoi n'a pas été retenu, bien qu'il puisse avoir des conséquences par le surcroît de poids et de volume et par le fait que, lorsqu'il est récupérable il peut entraîner un trafic induit en fret de retour, car nous ne savons pas traiter la question du volume dans une question simple.

Poids du chargement

La variable la plus importante dans nos estimations de consommation est le poids du chargement. Cette information figurait déjà dans les précédents questionnaires pour la route mais elle était souvent non renseignée. Il faudra donc veiller à ce qu'elle soit remplie pour l'ensemble des modes et mieux renseignée pour la route.

⁴⁹ Nous ne connaissons pas le volume de l'envoi suivi : nous ne pouvons donc pas lui attribuer un taux de remplissage de la capacité de l'avion en volume.

CONCLUSION

Consommations unitaires par trajet et par envoi et impact des pratiques logistiques sur la consommation d'énergie

Les données de l'enquête, enrichies d'informations sur les consommations unitaires par véhicule, ont permis de calculer l'énergie consommée en transport routier. Pour les trajets non routiers, fautes d'informations suffisantes, nous avons dû nous limiter, dans cet exercice, à appliquer des consommations unitaires à la tkm fournies par l'ADEME.

Les traitements opérés permettent, de comparer les consommations d'énergie selon les caractéristiques logistiques de l'envoi. Toutefois, la faiblesse des échantillons sur lesquels nous avons travaillé et l'absence de certaines informations capitales, invitent à la prudence dans l'interprétation des résultats obtenus. La très grande variabilité des consommations unitaires du transport routier se traduit par une grande imprécision des calculs de consommations moyennes, et met en évidence la nécessité d'une approche quantitative rigoureuse pour traiter ce problème. Cette variabilité des consommations estimées pour la route montre l'inadéquation de l'approche par des coefficients de consommation moyenne, retenues pour les autres modes par manque d'information.

Parmi les comportements logistiques des entreprises, ceux qui entraînent une réduction de la consommation d'énergie sont le groupage des flux et les livraisons directes. Le transport combiné rail-route et l'externalisation des activités logistiques semblent aussi favoriser la réduction de la consommation d'énergie, mais la faible précision des tests ne nous permet pas de conclure pour ces deux pratiques. Le principal comportement qui semble entraîner une augmentation de la consommation d'énergie est le 'Juste à Temps'.

Beaucoup d'hypothèses n'ont pas pu être testées par notre approche, alors que certaines d'entre elles ont probablement un impact fort sur la consommation d'énergie. Il s'agit par exemple des hypothèses sur la concentration spatiale des entreprises (mondialisation), sur les logistiques inversées, sur l'emballage ou sur la certification environnementale.

Les précédentes enquêtes chargeurs suivaient les différents trajets de l'envoi, à l'exception des parcours ferroviaires mais elles n'avaient pas été conçues pour permettre d'analyser l'énergie consommée. Les améliorations proposées dans ce rapport feront de la nouvelle enquête ECHO un puissant outil d'analyse des consommations d'énergie. Ces modifications recommandées sont marginales : elles portent principalement sur les caractéristiques du véhicule, le poids du chargement et les trajets à vide avant et après le trajet suivi. L'information la plus sensible pour affecter une part de cette consommation à l'envoi est le poids du chargement en cas de groupage. Cette information figurait déjà dans les enquêtes précédentes pour les trajets routiers mais elle était souvent mal renseignée. On propose donc de l'étendre aux autres modes de transport et de demander aussi le taux de remplissage du véhicule en volume.

Perspectives de recherches

Une synthèse bibliographique portant en particulier sur les consommations d'énergie par véhicules, nous enseigne que celles-ci sont assez bien connues pour la route mais des efforts de recherche restent à faire pour le chemin de fer et la voie navigable dont les consommations restent très mal connues.

Il y a un lien entre les comportements logistiques des entreprises et l'énergie consommée pour le transport de marchandises. La relecture d'enquêtes récentes auprès de responsables logistiques et les documents publiés ont permis de faire un état des lieux des tendances de la logistique et du

transport de marchandises susceptibles d'avoir un impact sur l'énergie consommée et de formuler des hypothèses sur l'influence des choix logistiques sur la consommation d'énergie. Pour tester ces hypothèses, nous avons eu recours à deux échantillons de données de l'enquête auprès des chargeurs, qui décrivent simultanément les principales caractéristiques logistiques des chargeurs et un petit nombre d'envois observés sur les différents trajets de leurs chaînes de transport. Mais plusieurs hypothèses n'ont pas pu être testées à partir de ces données.

Avec cette approche nous avons pu préciser l'influence de certaines pratiques logistiques mais il apparaît que l'établissement ou l'entreprise est un niveau insuffisant pour analyser ce phénomène. Au delà de l'établissement chargeur ou destinataire de l'envoi, la consommation d'énergie en transport est liée à l'organisation de la chaîne logistique, au sens d'une succession d'entreprises qui fournissent les matières premières puis les pièces détachées, le montage et la distribution vers le consommateur. Différentes formes d'organisations logistiques sont possibles entre les partenaires de la filière pour produire et amener sur le marché une certaine quantité de biens, qui peuvent entraîner des demandes de transport différentes. Une entreprise peut réduire le nombre de ses fournisseurs, en sélectionnant un petit nombre d'entre eux qui devront peut-être à leur tour concentrer eux-mêmes les approvisionnements ; notre entreprise va ainsi massifier ses flux d'approvisionnement alors que ses fournisseurs auront diversifié les leurs ; l'entreprise peut aussi raccourcir les distances parcourues par ses approvisionnements en demandant à ses fournisseurs d'installer leurs plates-formes à proximité de son usine. A l'opposé, une entreprise qui grandit peut allonger ses flux, tant pour distribuer ses produits (conquête de marchés lointains) que pour s'approvisionner (recherche de fournisseurs plus compétitifs). Cette augmentation de sa production lui permettra peut-être, par ailleurs, de réduire l'énergie consommée dans le processus de production, du fait des économies d'échelle. Pour apprécier le solde en matière de consommation énergétique une analyse logistique de l'ensemble de la filière est alors nécessaire. Ce sera l'objet de notre prochaine recherche.

ANNEXE 1 BIBLIOGRAPHIE

Les documents de cette bibliographie sont classés du plus récent au plus ancien selon les rubriques suivantes.

- 1 Méthode d'analyse des consommations, tous modes et par mode (routier, ferroviaire, aérien et maritime, par produit, par chaîne de transport et des comparaisons intermodales) ;
- 2 Cycle de vie du service transport ;
- 3 Consommation par pays : analyse de la structure et de l'évolution ;
- 4 Le commerce, la logistique et son évolution ;
- 5 Scénarios, politique, expérimentations et mesures préconisées ;
- 6 Transport de marchandises en ville et distribution, localisation ;
- 7 Mondialisation et Pays en Développement.

1 METHODE D'ANALYSE DES CONSOMMATIONS :

1.1 Tous modes

R. Joumard [99] : **Methods of estimation of atmospheric emissions from transport : European scientist network and scientific state of the art**, Action COST 319 final report, INRETS - LTE 9901 report, march 1999.

Wiederkehr P. [99] : **Environmentally sustainable transport: report on phase II of the OECD EST project**, OCDE, Paris, 100 p.

C. Gallez, L. Hivert [98] : **BEED mode d'emploi – Synthèse méthodologique pour les études budget-énergie-environnement des déplacements** ; rapport de convention ADEME, Inrets, 85 p.

Ce rapport final décrit la méthodologie mise en œuvre pour les études voyageurs BEED (Bilan Energie Environnement Déplacements) à partir d'enquêtes ménages et illustre les principales utilisations de cette approche.

B. Gilson, V Favrel, W Hecq [97] : **Overview and analysis of the links between « models of mobility » and « models of pollutant emissions from transport »**, CESSE-ULB Cost319, 45 p.

Le rapport distingue deux types de modèles de mobilité : A les modèles économétriques de demande de carburant ou de déplacements (le modèle du projet SCENARIO est analysé en détail) et B les modèles de trafic sur réseau (Network flow models), traditionnellement modèles à quatre étapes, qui reposent sur des données plus désagrégées, avec un zonage généralement de type NUTS 0, 1, 2 ou 3 ('projets Streams and Stemm). Les output sont les productions attractions par zone (tonnage pour le fret), les matrices OD ou volumes de trafic tous modes, les matrices OD par mode et par arc du réseau, les volumes de trafic, vitesse, temps et coûts. Les modèles développés par STEMM et STREAM sont analysés. STEMM, pour les marchandises, n'est pas encore au point, l'infrastructure n'est pas entièrement couverte et les catégories de véhicules, de vitesses et les départs à froid ne sont pas prévus. Dans STREAM le réseau est décrit minutieusement, les vitesses sont calculées par arc, une grande variété de modes sont décrits et les départs par zone sont estimés. Parmi les modèles d'émissions de polluants, c'est pour la route que les modèles sont le plus détaillés (STEMM, Copert II, et modèle Allemand-Suisse). Les auteurs passent en revue les besoins en données d'entrée de ces modèles (données de consommation d'énergie et d'émission et données de trafic). Pour les autres modes la principale source mentionnée est le projet MEET (Cost 319) , pour le trafic aérien, la navigation et les chemins de fer. Parmi les modèles économétriques, le modèle de cohortes développé dans SCENARIOS analyse le détail de la composition du parc de véhicules ; il pourrait par exemple être couplé avec le modèle COPERT II qui calcule la consommation de carburant. Pour les modèles de mobilité, en général, des adaptations sont nécessaires pour qu'ils puissent fournir les inpputs nécessaires aux modèles de consommation. Trois cas sont distingués : les émissions à chaud, les départs à froid et l'évaporation.

OCDE [96] : **Critères environnementaux pour des transports durables**, OCDE, Paris, 96 p

1.2 Route et transport routier de marchandises

S. Lacour , R Joumard (2002) : **Parc, usage et émissions des véhicules routiers en France de 1970 à 2020** ; Inrets, Rapport LTE -0208, 89 p.

Trois types de parc sont analysés : voitures particulières, véhicules utilitaires et deux roues. L'analyse du parc, à partir des immatriculations, tient compte de l'âge, de l'énergie et des normes d'émission. L'usage des différentes sous-catégories de véhicules est modélisé. Pour les poids-lourds, les projections à l'horizon 2020 portent sur l'évolution du parc (2,1 % par an de croissance pour les tracteurs et 1,9% pour les camions) alors que l'usage (km par an) est supposé constant pour un type donné de véhicule. La mobilité résultante augmente à un rythme de 2,3 % par an du fait de la structure du parc et notamment de son rajeunissement. Globalement, les émissions de polluant sont en diminution sensible et seules les émissions de CO2 continuent à augmenter. Pour les poids-lourds en particulier, le facteur d'émission de CO2 par km parcouru continue d'augmenter sur toute la période alors qu'il diminue sensiblement pour tous les autres types de véhicules.

A. Sauvart [01] : **Structure par âge du parc et des émissions de polluants des poids lourds en service** ; in note de synthèse du SES sept. Oct. 2001, pp. 27-30 ;

La structure par âge ainsi que le kilométrage annuel moyen des poids lourds sont estimés à partir de l'enquête TRM. 20% de la circulation des poids lourds sont responsables de 40 % des émissions de polluants liés à ce type de véhicule, ce qui souligne l'intérêt de mesures de politiques des transports visant spécifiquement les véhicules les plus âgés.

M. Girault et al. [00] : **Circulation et consommation de carburant en France, estimation détaillée par type de véhicules**, Notes de synthèse du SES, septembre-octobre 2000.

M. Andre et U. Hammarström [00] : **Driving speeds in Europe for pollutant emissions estimation**, Transport research, part D, vol. 5, p. 321-335.

S. Reis et al. [00] : **Road traffic emission - predictions of future contributions to regional ozone levels in Europe**, Atmospheric environment, vol. 34, p. 4701-4710, 2000.

J. Delsey [99] : **Emissions massiques de polluants par un trafic routier**, INRETS, décembre 1999.

D. J. Forkenbrock [99] : **External costs of intercity truck freight transportation**, Transportation research: part A: Policy and practice, vol. 33, issue 7-8, p. 505-526, sept-nov. 1999.

Defoug-Pfalzgraf [98] : **Transport léger routier de marchandises**, Rapport du Ministère des Transports, 1998.

C. Ross et al. [98] : **Spatial and statistical analysis of commercial vehicle activity in metropolitan Atlanta**, Transportation Research Record, p. 165-172, septembre 1998.

A. J. Hickman [97] : **Emissions function for heavy duty vehicles**. Deliverable 10 for the MEET project ; TRL, 20 p.

Une comparaison entre différentes méthodes d'estimation des émissions de polluants pour les poids lourds donne des résultats raisonnablement convergents.

Chang JP, Audoux N, Fontelle JP [96] : **Synthèse des études réalisées par le CITEPA relatives aux rejets de polluants dans l'atmosphère par le trafic routier. Développement d'une méthodologie d'inventaire national et régional**, Rapport CITEPA, Paris, avril 1996, 137 pages

Ce Rapport analyse des inventaire d'émission dans l'atmosphère réalisés par le CITEPA relatifs à l'année 1990 pour la France entière, et quatre régions : Ile-De-France, Lorraine, Nord-Pas-de-Calais, Rhône-Alpes, afin de mettre en évidence les valeurs caractéristiques de divers paramètres concernant le trafic routier (vitesse de circulation, kilométrage parcouru, consommation de carburant, etc.). Développement d'une méthodologie permettant d'utiliser un même modèle de calcul des émissions atmosphériques liées au trafic routier (COPERT). Résultats obtenus pour toutes les régions françaises.

J-P. Roumegoux [95] : **Calcul des émissions unitaires de polluants des véhicules utilitaires, The science of the total environment**, vol 169, p.205-211, 1995.

Les émissions unitaires de polluants sont calculées à l'aide du modèle de simulation SIVA pour trois types de véhicules utilitaires (3,5, 19 et 40 t.). Les conditions de fonctionnement simulées correspondent à l'autoroute (trajet de 65 km), la route nationale (93 km) et le roulage à vitesse constante pour différentes pentes.

Commission of the european communities [93] : **Corinair working group on emission factors for calculating, 1990 emissions from road traffic, Methodology and emission factors** ; office for official publications of the european communities, 1993.

T. Watanadata & al. [90] : **Le modèle pour la conception et l'entretien des routes - HDM III** (version française) – volume 1 description du modèle, version française sous la direction de P. Joubert, Setra-Enpc, pp 165-172 la consommation de carburant.

CGP [81] : **Les facteurs de consommation d'énergie dans le transport routier** ; Commissariat Général du Plan, 264 p.

Ce rapport analyse l'évolution passée des consommations des voitures et véhicules utilitaires : parcours et kilomètres parcourus, consommations spécifiques ; pour le TRM, l'évolution de la consommation d'énergie (productivité énergétique) est comparée à celle de la productivité en tkm, à partir de la source TRM ; il apparaît que les consommations spécifiques des camions augmentent de l'ordre de 3 % par an jusqu'en 1973 puis à un rythme à peine ralenti les années suivantes. Les camions sont équipés de moteurs de plus en plus puissants ; l'augmentation du prix du pétrole incite aux économies d'énergie mais, pour les camions cette incitation ne semble l'emporter qu'à partir de 1979 alors que pour les voitures et véhicules utilitaires à essence, cette évolution à la baisse des consommations spécifiques s'est produite dès 1974. De ce fait, la consommation de gazole progresse plus que le kilométrage total des véhicules diesel.

1.3 Transport ferroviaire

P. Lukaszewicz [00] : **Driving technique and strategies for freight trains**, Computers in railways VII. Seventh International Conference on Computers in Railways. P. 1065-1073, COMPRAIL 2000.

Bek B.H. & S.C. Sorenson [1998]: **Future emissions from railway traffic**. MEET Deliverable n° 17a DTU report, n°ET-EO-98-02, Dept of Energy Eng., University of Denmark, 26 p.

P. Laird [98] : **Rail freight efficiency and competitiveness in Australia**, Transport Reviews, vol. 18, issue 3, p. 241-256, 1998.

Jorgensen, Sorenson [1997] : **Estimating emission from railway traffic**. MEET Deliverable n° 17, DTU report, n°ET-EO-97-03, Dept of Energy Eng., University of Denmark, 135 p.

W. Harprecht and G. Pedall [90] : **Energy consumption and transport-a contribution of the railway to environmental protection**, Elektrische Bahnen, vol. 88, issue 11, p. 387-391, 1990.

1.4 Transport aérien

ICAO (International Civil Aviation Organization) [01] : **Aviation and sustainable development** ; ONU Department of Economic and Social Affairs, Commission on sustainable development, New-York, Ninth session 16-27 April 2001, 21p..

H. Y. Cherie et P. Morell [01] : **Evaluation and implication of environmental charges on commercial flights** ; Transport Review vol 21 n° 3 July 2001, pp 377 395.

P J. Gray-Mullen [01] : **Environmental Impacts of Aviation**, Communication au 80^{ème} Transport Research Board, janvier 2001, Washington D.C. , 6 pages

Cette communication est axée sur les impacts environnementaux imputables à l'activité opérationnelle du transport aérien : le bruit, la consommation d'espace et l'émission des polluants (composé organique volatil (cov), monoxyde de carbone (CO) et oxyde d'azote (Nox)). Le 21^{ème} siècle apportera inévitablement des avions

plus larges, plus rapides et plus grands pour transporter plus de voyageurs et de marchandises; ce qui demandera des aéroports plus grands, plus des terminaux, plus des routes, etc. et avec des impacts environnementaux connus et non connus.

International Panel on Climate Change (IPCC) [99] : **Aviation and the global atmosphere**, OMM et PNUE, 383 p. Résumé en Français sous le titre **L'aviation et l'atmosphère planétaire – Résumé à l'intention des décideurs**, GIEC 1999, OMM PNUE, 14 p.

M. T. Kalivoda et M. Kudrna [97] : **Methodologies for estimating emissions from air traffic** ; Meet project, task 3.1 deliverable n° 18, 60 p. + annexes

J.Jodeau [97] : **Les indicateurs d'impact sur l'environnement du transport aérien et des aéroports**, Transports, n°384, juillet-août 1997.

T. Price and D. Probert [95] : **Environmental Impacts of air traffic**, Applied Energy, vol. 50, issue 2, p. 133-162, 1995.

D. L. Greene [92] : **Energy - efficiency improvement potential of commercial aircraft**, Annu. Rev. Energy environment, vol.17, p. 537-573, 1992.

1.5 Transport maritime et fluvial

S. Beguier, M. Durif, JP Fontelle, B. Oudart [00] : **Etude sur les pollutions de l'air par les moteurs des bateaux de la navigation intérieure**, CITEPA, 48 p. + annexes

P.G Jolly et al. [00]: **Simulation and measurement on the full-load performane of a refrigeration system in a shipping container**, International Journal of Refrigeration, Volume 23, p. 112-126, March 2000.

Carlo Trozi & Rita Vaccaro [98] : **Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships** , Techne report Meet RF98, 44 p.

Carlo Trozi & Rita Vaccaro [98] : **Methodologies for estimating future air pollutant emissions from ships** , Techne report Meet Project Task 6.3, 32 p.

2 ANALYSE PAR PRODUIT, CHAINES DE TRANSPORT ET COMPARAISONS INTER-MODALES

A.Roth [00] : **Reaching long term environmental goals in a food supply chain** ; proceedings of the 3rd KFB research conference Stockholm, 06/2000, 13 p. published by Vinnova- the Swedish Agency for innovation systems.

Ce papier analyse comment les objectifs environnementaux (CO₂ et NO_x) peuvent être atteints pour une filière (supply chain) de Cornflakes. Le modèle utilisé pour déterminer les possibilités à long terme d'améliorer la chaîne est basé sur une variante du LCI et une description des activités. La principale chaîne étudiée se compose de 3 modes et 4 points de rupture dont le dernier est le détaillant. La construction des nouvelles chaînes se base sur des hypothèses portant sur la nature de ces détaillants : différentes tailles et localisation entraînent des déplacements différents pour les consommateurs mais aussi des solutions de transport différentes. En conséquence, davantage de cornflakes sont transportés par camion au lieu du système rail-combi entre les entrepôts et les terminaux de distribution. Les objectifs environnementaux à long terme peuvent être atteint pour le NO_x, principalement grâce aux nouvelles technologies. Pour le CO₂, les possibilités technologiques de réduction sont limitées ; une meilleure efficacité de la chaîne logistique pourrait donner des réductions substantielles mais la structure du transport doit être reconsidérée pour obtenir les objectifs de CO₂ : il faut en particulier réduire les déplacements des consommateurs chez les détaillants.

R. Ramanathan [00] : **A holistic approach to compare energy efficiencies of different transport modes**, Energy Policy, vol. 28, issue 11, Septembre 2000 pp 743-747.

Pour déterminer l'évolution de l'efficacité énergétique des deux modes terrestres en tenant compte simultanément des productions voyageurs et marchandises mais sans faire d'hypothèse sur leur consommations relatives, l'auteur applique une méthode d'analyse des frontières ou Data Envelopment Analysis aux données de consommations globales sur la route et en chemin de fer, sur la période 80 -94. L'efficacité énergétique du transport ferroviaire s'est améliorée alors que pour la route, la dernière année a été particulièrement mauvaise.

F.M. Vanek et E.K. Morlok [00] : **Improving the energy efficiency of freight in the United States through commodity-based analysis : justification and implementation**, Transportation Research, part D : transport and Environment, vol. 5, issue 1, p. 11-29, 2000.

Les efforts pour réduire la consommation d'énergie liée au transport de fret se sont concentrés sur l'approche par mode : réduction des consommations unitaires et répartition modale. Après avoir constaté l'insuffisance de ces politiques, les auteurs proposent une approche par produit. La répartition par produit de la consommation permet deux applications : l'analyse de l'utilisation d'énergie sur le cycle de vie des produits et l'analyse spatiale des flux.

S. Potter and M. J. Skinner [00] : **On transport integration: a contribution to better understanding**, Futures, vol. 32, p. 275-287, 2000.

FM Vanek (Heriot-Watt Univ, UK), JB Campbell [99] : **UK road freight energy use by product: trends and analysis from 1985 to 1995** ; TRANSPORT POLICY. 1999/10. 6(4) pp237-46

Since the early 1980s, energy use in road freight has been rising much faster than overall energy use in the UK. To better understand the factors driving this rapid growth, the authors carried out an analysis of road freight energy use trends across 14 product sectors from 1985 to 1995. Growth in length and complexity of supply chains, rather than growth of output, is shown to be the main driver of increasing freight energy consumption, with high value products having the highest energy use per tonne lifted. Policy options and a proposal for improved estimation of energy consumption are also discussed.

E Flodstroem (MariTerm AB, Sweden) [98] : **Environmental assessment of freight transportation** ; KFB Report [1998:15) 44p + app

The aim of the presented studies is to investigate the environmental effects of transferring goods from one transport mode to another. The first of these two studies was based on a new methodology for mapping of goods flows in transport chains together with an allocation of emissions and energy consumption. In the second study the method and models developed are used to calculate the maximum potential for the transferring of freight from transport by lorries to mainly transport by railway. Main results are that freight volume that could be transferred is limited and that environmental effects are small compared to effects following measures taken to reduce emissions from the vehicles.

A Morcheoine [98] : **Transports, énergie, environnement - un atout pour le fer** ; Note de synthèse, ADEME – Direction des Transports, 8 Pages

La responsabilité des transports terrestres dans la pollution de l'air est présentée par mode de transport et par polluant selon la localisation. Les efficacités énergétiques sont comparées pour les transports à longue distance et régionaux de voyageurs et pour les transports de marchandises à longue distance.

Institut für Energie und Umweltforschung d'Heidelberg [96] : **Bilan écologique Chronofroid**, Rapport pour le compte de SNCF, ADEME et EDF, 1996

La conclusion de ce Rapport est que le transport combiné apporte, par rapport à la route, une réduction par 2,6 fois des impacts concernant l'effet de serre, une réduction par 2,7 de l'acidification atmosphérique ainsi qu'une économie de 20% quant à la consommation d'énergie. Le point faible du transport combiné se situe au niveau des déchets radioactifs.

Y Crozet, S durant, L Guihery, S Hammiche, M Perez, S de Romemont [95] : **Le transport routier et fluvial dans la vallée du Rhône : quels coûts comparés pour la collectivité ?** – LET pour le compte du Service Maritime et de Navigation de Languedoc-Roussillon, Lyon, novembre 1995, 147 pages.

En termes de coûts externes [Coût de la pollution + bruit + congestion + insécurité en centimes par tonne. Kilomètre), le rapport en faveur du transport fluvial va de 1 contre 7 entre les totaux maximums; à 1 contre 11 entre les totaux minimums. Il ressort donc une complémentarité évidente entre le mode routier et le mode

fluvial dans la vallée du Rhône, compte tenu de l'accroissement quasi certain du trafic et des coûts externes croissants qui lui sont liés.

A. Kolb M. Wacker [95] : **Calculation of energy consumption and pollutant emissions on freight transport routes** ; in The science of the total environment n° 169 (1995) pp 283-288

Pour comparer des solutions alternatives de transport, l'énergie consommée et les émissions de GES sont analysées par mode (camion, rail voie d'eau, air) pour différents cas de demande définis par leur origines et destination, le type de chargement (unité de charge, vrac) le poids et la contrainte de temps de transport ; il faut tenir compte des différences entre les modes : de distances, de coefficient de chargement, d'éventuels pré et post acheminement, des chargement et déchargements, triage pour le ferroviaire, spécificité du véhicule dans un même mode. La méthodologie de calcul des consommations d'énergie est esquissée (pour le ferroviaire elle fait appel à un modèle de simulation des trains allemands) et les émissions de GES s'en déduisent directement. En conclusion, pour la comparaison de cas précis, il ne faut surtout pas appliquer un coefficient moyen de consommation par mode : même si c'est le fer qui est généralement le moins polluant pour le climat, pour certaines relations c'est la navigation qui arrive en tête et parfois la route.

JN de Gottal, Y Smeers [93] : **Vers un réseau européen de transport combiné – effet des coûts externes sur le choix modal** ; in RTS n° 38/39 juin 93, pp. 111-120.

Dans quelle mesure le transport combiné international peut-il se développer face au transport routier et dans quels segments de marché peut-il le faire sans aide publique ? Dans quelle mesure la prise en compte des externalités de ces deux modes est-elle favorable au transport combiné?

3 CYCLE DE VIE DU SERVICE TRANSPORT

Barrett, Byrd Associates [00] : **New technology fosters European growth** ; modern asphalts (2000), no. 6. p. 8-9. 0 refs.

This article describes Lintec's innovative floating asphalt plant at sea, 20km from Hamburg. This containerised screen drum (CSD) factory promises to save considerable costs through its high mobility, simple design, and low energy consumption. Its housing of asphalt in ISO standard containers enables low cost transportation by and between sea, rail, and road. Access to the plant is controlled, so that there is more control over safety. The plant's most innovative feature is its integration of drying and screening at high level. As a result, the design is simpler, and the plant is easier to maintain. Lintec has formed a partnership with Foster Yeoman, a British supplier of aggregate and coated stone, and the French road construction group Eurovia to form Nordheide Asphalt. The plant is now under trial for Hamburg's asphalt market and the surrounding Niedersachsen area. It has a capacity of 160t of mixed material an hour, which can easily be increased to 250t an hour. It can reprocess up to 30% recycled asphalt, which is incorporated into the mix after reheating and screening. It can also provide the very high temperatures needed to produce high-performance mastic asphalts. Lintec has already conducted successful trials of its CSD system in Poland, China, and Thailand.

M Lenzen-M (Sydney Univ, Australia) [99] : **Total requirements of energy and greenhouse gases for Australian transport** ; TRANSPORTATION RESEARCH, PART D. 1999/07. 4D(4) pp265-90

In addition to fuels, passenger and freight transport require vehicles and infrastructure. As with fuels, the provision of goods and services that are needed for the operation of transport involves the consumption of energy and the emission of greenhouse gases. The energy consumed and greenhouse gases emitted due to fuel use by vehicles are referred to as direct requirements, while indirect requirements of energy and greenhouse gases are embodied in the goods and services mentioned before. Indirect requirements form a significant part of the total energy and greenhouse gases required for a given transport task. They depend on the transport mode, ranging from 10% to 50% for freight transport and from 25% to 65% for passenger transport. These indirect requirements have to be taken into account when options for reducing the energy consumption and greenhouse gas emissions of the transport sector are to be evaluated.

Houghton (ARRB Transport Research LTD), J McRobert (ARRB TRANSPORT RESEARCH LTD) [98] : **Toward a methodology for comparative resource consumption: modal implications for the freight task** ; RESEARCH REPORT. 1998/04. (ARR 318) 64P

This Report summarises work to date relating to the development of a methodology for comparative resource consumption. The purpose of this study was to develop a framework for the first order comparison of

resource use (energy and environmental resources) associated with different modes for selected transport tasks. While the analytical framework has application to urban and non-urban movements of freight and passengers, on both long and short haul routes, the scope of the initial study, for demonstration purposes, was confined to the movement of containerised non-bulk freight on a selected interstate corridor using two competing modes (road and rail). The analytical framework proposed consists of an energy accounting framework and an environmental accounting framework. The energy accounting framework adopts a life cycle energy approach to include both direct and indirect energy consumptions. The framework includes measures for direct energy consumption, full fuel cycle energy consumption, as well as embodied energy in the transport rolling stock and infrastructure. The energy accounting framework examines a number of factors which influence modal energy consumption. The environmental accounting framework can include environmental resource consumption beyond greenhouse gas emissions. Resources considered include critical resources such as air, water and land and impacts on biodiversity and ecological processes. The environmental accounting framework incorporates both qualitative and quantitative measures of environmental resource consumption.

E Alvarsson, T Andersson [95] : **The impact of transport on the environment: a calculation model for the determination of the environmental effects caused by chains of transport** ; lunds tekniska hoegskola, institutionen foer teknisk logistik, sweden, 66p+app

The aim has been to develop an independent calculation model which makes it possible to compare and evaluate different chains of transport and determine levels of emissions and energy consumption. Prior to the construction of the model, extensive research was conducted in order to develop an understanding of how, when and where the environment is affected by the use of the different modes of transport; an understanding of which, for the user of the model, is important to possess. The different modes of transport, road transport, railway, sea transport and aviation, contribute: (1) to the formation of emissions to the air, especially of CO, NO_x, HC, SO₂, CO₂ and particles; (2) to the creation of noise and vibration; (3) to the cause of accidents. An independent calculation model has been developed which makes it possible to compare chains of different types of transport containing besides the main mode of transport, sea crossing, connections before and after the main mode of transport and also reloading. In the model, emissions of CO, HC, NO_x, CO₂, SO₂ and particles are considered together with the energy consumption and the environmental cost. The emissions used in the model are expressed in g/tonnekm and therefore, in the case of volume dependent goods, a conversion from cubic metre to tonne has to be made where considerations concerning the volume of the goods and the volume and the total freight weight of the vehicle have to be taken. Three examples have been calculated in which the different modes of transport (lorry, train and ship together with connections before and after, reloading and sea crossing) are compared to each other. The conclusion to be drawn from these examples is that an electric powered train, taking the electric power generation into consideration, constitutes a more environmental friendly mode of transport than a ship or (especially) a lorry. If a lorry was replaced by an electric train, the effect would be almost an 80 per cent decrease in the environmental cost.

A Faiz, C Weaver, M P. Walsh [96] : **Air Pollution from Motor Vehicles: Standards and Technologies for Controlling Emissions** ; World Bank Technical Paper No. 308, Washington DC

This handbook presents a state-of-the-art review of vehicle emission standards and testing procedures and attempts to synthesize worldwide experience with vehicle emission control technologies and their applications in both industrialized and developing countries.

4 CONSOMMATIONS PAR PAYS : ANALYSE DE LA STRUCTURE ET DE L'EVOLUTION

S. Murtishaw et L. Schipper [2001] : **Disaggregated analysis of US energy consumption in the 90s : evidence of the effect of the internet and rapid economic growth** ; in Energy Policy n° 29 (2001) pp 1335-1356.

Cet article décompose l'énergie utilisée aux USA de 88 à 98 et affecte les évolutions des consommations à celles de l'activité (croissance par secteur), de la structure et de l'intensité énergétique par secteur. La consommation du secteur 'transport de marchandises', qui dépasse 12 % de la consommation totale en 98, a connu la plus forte croissance. Sa consommation (+31%) a cru encore plus vite que l'activité (+ 23% en tkm), en raison d'une évolution de la répartition modale favorable à la route et bien que l'intensité énergétique aie légèrement décreu pour chaque mode, notamment pour l'aérien, sauf la navigation. Dans l'ensemble de la

consommation d'énergie du pays, les auteurs estiment que les technologies de l'information ont eu un impact fort sur la réduction de l'intensité énergétique (mesurée par E/PIB) notamment par la croissance des secteurs peu consommateurs d'énergie mais aussi par la réduction des consommations de nombreux secteurs. Parmi les pistes pour de futur travaux, les auteurs soulignent l'insuffisante connaissance de l'usage des véhicules routiers et de leur consommation : des pans importants de la consommation d'énergie liée aux camions est méconnue en particulier la production en tkm.

R. Ramanathan [01] : **Long-run behaviour of transport performance in India: a cointegration approach**, Transportation research, part A: Policy and practice, vol. 35, issue 4, p. 309-320, may 2001.

E Negrenti (ENEA) [01] : **Application of advanced transport impacts models on national and local scale: results from COMMUTE, ESTEEM and HESAID projects** ; ARRB Transport Research Ltd Conference, 20TH, 2001, Melbourne, Victoria, Australia (2001) p. 25, Published by: ARRB Transport Research Ltd, 500 Burwood Highway, 3133, Vermont south, Victoria, Australia

This paper reports on the results of three projects co-financed by the European Commission and aiming at the development of innovative methods for the evaluation of the impacts of transport systems at different spatial and temporal scales. Within the ESTEEM Project, financed by EC Research Directorate, a new approach was developed and validated for modeling urban network vehicle emissions by taking into account speed variability along network links. The new approach was validated in various ways and applied in three European cities. The HESAID Project, financed by EC Energy Directorate, was focussed on the estimation of energy savings and environmental improvements that can be achieved through the alternative design of road intersections. In this framework ENEA has developed a special option of its emission model TEE (Transport, Energy, Emissions) dedicated to the analysis of intersection speed cycles and the consideration of instantaneous emission factors rather than average speed factors. In COMMUTE Project (EC Transport Directorate) a methodology and a software were developed for the environmental assessment of trans-European multimodal networks. Here the focus is on pollutants emissions, noise and safety of transport modes. The tool was applied to a first 'pilot' Strategic Environmental Assessment (SEA) study on the analysis of the effects of alternative policies until year 2010. Overall conclusions can be drawn from the mosaic of experiences made in these three projects. (a) For the covering entry of this conference, please see ITRD E204173.

Beauvais Consultants [00] : **Transport de marchandises et environnement – Données et références**, Rapport pour le compte de l'ADEME, 78 pages.

La première partie est une synthèse statistique sous forme de tableaux sur les entreprises de transport de marchandises, le matériel de transport de marchandises, la circulation des poids lourds, sur les trafics de marchandises et sur l'impact sur l'environnement. La deuxième partie est consacré à une analyse bibliographique sur le transport de marchandises et environnement.

CNT [99] : **Les transports et l'environnement, vers un nouvel équilibre**, Rapport du Groupe de travail présidé par Bonnaïfous A, Rapporteurs : Brun G., et Nicolas J.P. CNT ; La documentation Française - 1999, 175 pages.

Ce Rapport est organisé en trois parties : la première partie fait le point sur l'impact environnemental des transports ; la deuxième partie traite des progrès technologiques et des perspectives de trafic ; et la troisième partie traite des divers modes de régulation du marché, en s'appuyant sur les données des deux premières parties.

L. A. Greening et al. [99] : **Decomposition of aggregate carbon intensity for freight: Trends from 10 OECD countries for the period 1971-1993**, Energy Economics, Vol. 21, issu 4, p. 331-361, august 1999.

C. Lamure et al. [99] : **L'évolution technique et la consommation énergétique - transport quotidien et de marchandises**, Acte de la journée du CUEPE 99 et du 3^{ème} colloque du cycle de formation du CUEPE 97-99, 1999.

A.C McKinnon [98] : **Logistical Restructuring, Road Freight Traffic Growth and the Environment**, Transport Policy and Environment, in Banister, D. (ed.), pp. 97-109, Spon, London 1998

Transportation in Canada 1998 : annual report [98]; p. vi+316. - refs., Published by: canada. Transport Canada ISBN: 0-662-27586-1

The 1998 annual report on the state of transportation in Canada brings together, under one cover, a unique collection of data and observations on the use of the Canadian transportation system, its performance, its safety, its impact on energy consumption and the environment, and its contribution to the economy and the well-being of Canadians. This year's report is divided into three parts. The two chapters of Part A provide a context for the whole report. Part B looks at transportation from a sustainability perspective. Eight chapters cover key subjects related to sustainability - safety, environment, energy, regional economies, employment, trade, tourism and information and communication technology. Part C, the last part of the report, examines specific elements of the Canadian transportation system.

Department of the Environment, Transport and the Regions [98] : **Focus on freight.**; stationery office, publications centre, po box 276, london, sw8 5dt, united kingdom 33p

Focus on freight is the first in an occasional series from the Department of the Environment, Transport and the Regions (DETR), designed to bring together information about the freight and logistics industry in Britain. It covers domestic and international freight transport. Statistical tables and charts included cover: long term trends in freight; age of vehicles; average length of haul; freight traffic forecasts; energy consumption and vehicle emissions; freight modal share by country (England, Germany, France) for 1970-1995.

D. Banister et al. [98] : **Transport policy and the environnement**, published Alexandrine Press, Oxford, 1998.

Danielis-R [94] : **Transport and energy in italy: changes in the period 1975-1991** ; environmental issues. Proceedings of the 22nd ptrc, university of warwick, england, september 12-16, 1994. Volume p375. 1994. pp257-68 (18 Refs.)

The paper analyses the change in energy use and energy intensity in passenger and freight transport in Italy over the period 1975-91. The analysis is carried out at a modal level and allows to make inter-modal comparisons. The mathematical framework used in the analysis is taken from Schipper et al. The paper disaggregates energy use between passenger and freight transport with an ad hoc methodology and presents a global view on energy use and efficiency for all modes in both passenger and freight transport. It is found that the dynamics that have taken place in passenger and freight transport are quite similar. The enormous increase in energy use is due mainly to the increase in transport volumes and to the shift towards more energy intensive modes (ie road transport, and some air transport for passenger transport). Both tendencies have been stronger for freight than for passenger transport. Nevertheless, aggregate and modal energy intensity has decreased, ie the transport system has become more energy efficient. The decrease is more relevant for freight transport. At the modal level, the main gains in efficiency took place in the most energy intensive modes in passenger transport (there is an inverse relationship between energy consumption and fuel economy gains) so that a convergence in energy intensities took place. This does not hold true for freight transport.

Conseil national des Transports [98] : **Les transports et l'environnement**, Rapport du groupe du travail "Transport et environnement", octobre 1998.

Bundesministerium fuer umwelt, jugend und familie, wien [97]: **Environmental balance of transport. Austria 1950-1996.**

T. R. Lakshmanan, Han Xiaoli [97] : **Factors underlying transportation CO₂ emissions in the U.S.A: A decomposition analysis**, Transportation research: part D, Transport and environnement, vol.2, issue 1,p. 1-15, march 1997.

L. Schipper et al. [97] : **Energy use and carbon emission from freight in 10 industrialized countries: an analysis of trends from 1983 to 1992**, Transportation research, Vol.2 n°1, p. 57-76, 1997.

L'évolution de la consommation d'énergie liée au fret est décomposée en évolution de l'activité, répartition modale, et intensité énergétique. Dans les 10 pays étudiés, la croissance du fret domestique profite essentiellement à la route; la consommation d'énergie liée au fret augmente plus rapidement que celle liée

aux voyageurs ; et cette croissance de la consommation d'énergie pour le fret continuera à moins qu'on améliore sérieusement l'efficacité énergétique des camions.

V. Vleck, Va L. Nee [97] : **Delivering coal by road and rail in Britain: the efficiency of the "Silly little bobtailed" coal wagons**, Journal of economics history, vol. 57, issue 1, p. 139-160, march 1997.

Nancy Kiang and Lee Schipper [96] : **Energy trends in the Japanese transportation sector**, Transport Policy, Vol. 3, issues 1-2, p. 21-35, january 1996.

Apelbaum Consulting Group Pty Ltd [1993] : **The Australian transport task and the primary energy consumed - the 1990/91 compendium**: Volume A - summary of findings and conclusions; Volume B - report. 1993/11. 2 VOLS (XXII + 189P) ; Australia. Department of primary industries and energy (dpie)
The purpose of this report is to identify the national transport task and the relative energy efficiency of the transport sector by mode. The report consists in the main of statistics relating to the passenger and freight transport tasks and the demand for energy from the various modes (road, rail, domestic air, coastal shipping, pipelines, and international transport).

5 LE COMMERCE, LA LOGISTIQUE ET SON EVOLUTION

Dornier P.-P, Fender M. [01] : **La logistique globale –enjeux-Principes –exemples**, Editions d'Organisation, Deuxième tirage, Paris 2001, 430 P. + annexes

Cet ouvrage s'attache à apporter trois sortes d'éclairages sur les tendances logistiques : (1) les évolutions stratégiques, tant commerciales qu'industrielles, (2) l'intégration fonctionnelles, géographique et sectorielle de la logistique, et (3) un certain nombre des tendances autour desquelles les organisations logistiques se recomposent.

B2k Consultants (01) : **Evolutions logistiques et politiques publiques –Etude préliminaire à la mise en place d'un programme de recherche**, 'Analyse et axes de recherche', Rapport final 1 pour l'ADEME et le METL (Drast), 139 p. + annexes.

L'étude fait un état des lieux du lien entre les évolutions logistiques et les politiques publiques en matière de transport, d'environnement, d'aménagement du territoire, de financement, sociale à partir d'une part des enquêtes par entretien approfondi auprès des experts nationaux et internationaux, de grandes entreprises françaises et étrangères (distributeurs, industrielles et prestataires logistiques) et d'autre part de l'analyse bibliographique et documentaire et propose ensuite des axes de recherches pour le PREDIT 2002 à 2006, afin de concevoir et construire des stratégies publiques adéquates.

B2k Consultants (01) : **Evolutions logistiques et politiques publiques –Etude préliminaire à la mise en place d'un programme de recherche**,: 'synthèse de la collecte et traitement des données', Rapport final 2 , pour l'ADEME et le METL (Drast), 257 P. + annexes

Synthèse et traitement brut des entretiens réalisés auprès des experts et des entreprises et de l'analyse bibliographique.

Translog-Eurosiris [01] : **Intégration logistique, localisation des plates-formes et évolution du transport – Le cas de l'industrie automobile dans le Nord-Pas de Calais** ; Prédit, 136 p.+ annexes.

L'analyse des processus et organisation industriels et logistique permet de caractériser les logiques de flux et de localisation des sites intervenant dans la chaîne productive et d'évaluer les conséquences sur le transport dans la région.

Baracchini P. [01] : **Guide à la mise en place du management environnemental en entreprise selon ISO 14001**, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne 2001, 170 P.

Depuis l'introduction de la norme ISO 14001, de nombreuses entreprises ont trouvé en celle-ci un fil conducteur et une méthodologie pour la mise en œuvre du Système de Management Environnemental (SME). Préparer une démarche de certification ISO est un projet important qui demande des compétences. Cet ouvrage permet de guider les entreprises dans cette démarche ; il décrit les éléments essentiels à prendre en compte à chaque étape, analyse les exigences de la norme et la méthodologie nécessaire à la réalisation du projet de certification ISO 14001.

Laboratoire THEMA & DRE-Rhône-Alpes [01] : **Le stockage dans l'aire métropolitaine de Lyon – localisation et consommation de l'espace**, Rapport, septembre 2001, 129 pages.

Cette étude propose une lecture de la fonction logistique, présente l'aire métropolitaine de Lyon qui constituera le cadre spatial du travail, décrit le stockage au sein de l'aire lyonnaise selon une approche visant à mettre en évidence les structures spatiales de l'activité, traite des mutations qui affectent l'aire de la directive territoriale d'aménagement (DTA) de l'aire urbaine de Lyon depuis une vingtaine d'années.

Pimor Y. [01] : **La logistique – Techniques et mise en œuvre** 2ème Edition Dunod – Série Gestion industrielle, Paris 2001, 579 P.

Cet ouvrage aborde les points suivants de la logistique : supply Chain (des concepts au management) ; logistique de flux (stocks, pilotage des flux, entrepôts, transports, prévisions des besoins, logistique de distribution, etc.) ; logistique de soutien (maintenance, logistique inverse, soutien logistique intégré, etc.) ; organisation et stratégie (avec des développements sur l'informatique et les schémas directeurs logistiques).

Fiore C. [01] : **Supply Chain en action**, Les Echos Editions, Paris, 2001, 222 Pages

Cet ouvrage traite de la mise en place d'une Supply Chain dont le principal enjeu est une croissance conjuguée du niveau de service clients et de la rentabilité. Considéré jusqu'à présent comme un véritable dilemme, l'arbitrage entre service clients et rentabilité peut aujourd'hui être levé du fait des formidables potentialités des progiciels de gestion intégrée. L'ouvrage détaille aussi de nombreux outils conceptuels et techniques liés au processus de la Supply Chain.

Commissariat Général du Plan (travaux du groupe de travail présidé par Marcel Boiteux) [01] : **Transports : choix des investissements et coûts des nuisances**, Rapport du, La Documentation Française, juin 2001 – 326 Pages, y compris Annexes.

Ce Rapport est la réactualisation de la première étude réalisée en 1994. Il tente de valoriser les avantages et les inconvénients non marchands d'un projet de transport. Ce Rapport a particulièrement travaillé sur les éléments suivants : valorisation des gaz à effet de serre ; l'évaluation des effets de la congestion en zone urbaine ; la valeur du temps et du bruit ; l'effet des pollutions classiques ; coût de la vie humaine. Ce nouveau rapport recommande ainsi des valeurs précises qui permettent de donner un prix aux avantages et aux nuisances dans le cadre des décisions d'investissements.

International Journal of Logistics [01] :, Volume 4, Number 2/July 1, 2001

During the Summer of 1999, the authors sent a survey to 665 Danish logistics service providers. These firms included air, rail and truck transportation providers, warehousing companies, freight forwarders and multi-function third-party logistics providers.

International Journal of Logistics, [01] : Volume 4, Number 2/July 1, 2001

Partnerships and alliances are both tools to increase integration in supply chains and effects of increased integration. As a result of alliance, integration in supply chain networks effectiveness and efficiency increase. To develop highly integrated supply chain networks involves investing time, resources ...

Euro-Case [00] : **Freight Logistics and Transport System in Europe – Trends in the location of European industry and its interaction with logistics and transport**, Rapport, 208 Pages.

Ce Rapport analyse les facteurs de localisation des activités en Europe dans les domaines de la grande distribution, de l'industrie pharmaceutique et de l'industrie automobile en interrelation avec les évolutions logistiques (Supply Chain). Le Rapport analyse aussi l'impact de la logistique sur les transports de marchandises.

Chapelon L. C. (coordination scientifique) [00] : **Transport et Energie**, Editions Reclus – La Documentation Française- Collection Atlas de France Volume 11 – 2000, 146 pages 182 cartes et graphiques.

Ce volume analyse la place des transports dans l'économie française et le poids relatif de chacun des modes de transport. On y trouve des statistiques sur le secteur des transports (volume, nature et évolution des flux de personnes et de marchandises), des cartes des infrastructures et des équipements existants et projetés, des évaluations de la capacité des différents modes de transport, etc. La question de la complémentarité est abordée de manière spécifique à l'aide de plusieurs exemples, elle vise à explorer les solutions pluri-modales

performantes sur certains itinéraires afin de limiter les nuisances occasionnées par la croissance du trafic routier. Les infrastructures de production et de transport de l'énergie font l'objet d'un chapitre spécifique.

Ph. Girault et al. [00] : **Le programme de recherche Redefine ou comment analyser l'organisation logistique d'un secteur**, in notes de synthèse du SES mars-avril 2000.

Philip B. CRET-LOG [00] : **La reverse logistics au sein des canaux de distribution inversée : les formes adéquates de coopération pour la chaîne logistique de valorisation des produits en fin de vie**, Communication au colloque RIRRL 2000 « Les 3èmes rencontres internationales de la Recherche en Logistique, Trois-Rivières, 33 Pages.

Les relations entre le degré de coopération entre entreprises et leur contexte d'une part et les variables de performances de la *reverse logistics* de l'autre.

Artous A., Salini P. [99] : **Management stratégique des firmes de transport et de logistique - Les orientations méthodologiques pour mener une analyse prospective**, Editions Liaisons Paris, 1999, 160 pages

Cet ouvrage comprend deux parties. La première partie analyse l'évolution et le positionnement de certaines des principaux groupes de transport par rapport aux différents marchés émergents de la logistique. Cette analyse permet, plus généralement, de situer le profil général des groupes français face au nouveau cycle de restructuration du secteur qui s'opère à l'échelle européenne. La deuxième partie, plus méthodologique et prospective, traite des méthodes mises en jeu dans le cadre d'une démarche de management stratégique dans les firmes de transport et la logistique.

P. Salini [99] : **La dynamique des systèmes : Retour sur une expérience d'application aux transports de marchandises**, Rapport PREDIT N° 98 MT 116, 17 Pages.

Ce Rapport traite de l'application de la dynamique des systèmes à la modélisation et à la prospective des transports terrestres de marchandises en France. Résultat de recherche, le Modèle SIMTRANS est un outil de réflexion dédié à la prospective qui permet de poser de manière différente la réflexion sur les politiques de transport de marchandises. Le modèle allie, dans un même outil d'analyse, données quantitatives et comportements qualitatifs.

Gérardin Conseil [99] : **La logistique des déchets ménagers, agricoles et industriels – synthèse** ; ADEME, Editions – Réalités et perspectives Paris, 1999, 140 pages

L'approche logistique nécessite une vision globale de la gestion et de l'élimination des déchets : les choix effectués en matière de collecte ou d'élimination ont des répercussions sur l'ensemble des maillons de la chaîne de traitement et d'élimination en aval. A l'inverse, la décision de n'accepter dans les décharges à l'horizon 2002 que des déchets ultimes se répercute en amont sur tout le processus de gestion des déchets. Qui dit approche logistique renvoie donc au concept d'analyse systémique, à la notion de boucles de rétroaction, c'est à dire une organisation durable dans laquelle le déchet redevient une matière première après tri et traitement grâce à un processus de recyclage. Certains constructeurs automobiles prennent en compte lors de la fabrication des véhicules les exigences liées à la récupération des matériaux dans les épaves. Les processus de production des produits manufacturés intègrent petit à petit les besoins liés aux procédures de recyclage et de valorisation mais beaucoup reste encore à faire dans ce domaine avant d'aboutir à une conception logistique globale intégrant les boucles de rétroaction.

La loi du 13 juillet 1992 impose que tout déchet passe par une phase de traitement. L'organisation linéaire collecte – transport – mise en décharge est remplacée par une organisation logistique collecte – centre de traitement d'où partent, d'une part des flux vers la récupération et le retour dans le circuit économique, et d'autre part des flux vers la mise en décharge. De plus, la collecte doit intégrer en amont un tri sélectif. Le transport et l'élimination des déchets industriels sont assurés de plus en plus par des prestataires de services spécialisés, qui intègrent une prestation logistique globale incluant notamment la collecte, le groupage, le transport, etc. Le prestataire devient ainsi un organisateur des chaînes logistiques d'élimination.

Des solutions multimodales sont en cours d'expérimentation :

- le transport combiné rail-route avec le polyrail (ECORAIL, une filiale de la SNCF, traite 300.000 tonnes par an à Marseille avec cette technique) et le système multiterces (SIRTOM de la Maurienne ; 20.000 tonne par an);

- la voie d'eau-route avec des transports de vrac (à Genève, c'est ainsi qu'est alimentée l'usine d'incinération) ou avec des transports par conteneur (le Port de Lille vient de créer, en collaboration avec une

filiale de VIVENDI, une ligne fluviale entre Lille et Blaringhem où est situé le site d'enfouissement ; le service est assuré par deux bateaux de 40 et 50 EVP chacun ce qui représente un trafic de 300 tonnes par jour).

- Le système multiberces est une unité de transport combiné. Il mobilise un wagon plat spécial équipé de trois cadres pivotants, un camion standard muni d'un bras hydraulique, et une gamme des caisses amovibles rail-route adaptée aux différentes densités de déchets. L'ensemble des opérations est réalisé par le chauffeur du camion en moins d'un quart d'heure.

MCKinnon-A(ED) [99] : **Review of research on freight transport and logistics**, freight transport association, hermes house, Janvier 1999. 76p

This is the first in a new occasional series 'designed to bring together information about the freight and logistics industry in Britain'. It consolidates much of the official freight data already published in other reports. Extensive use is made of graphs and a commentary is provided to help the reader interpret the statistics. New indices have been calculated to measure trends in transport intensity (expressed as ratio of tonne-km to GDP) and energy efficiency. The report examines key trends in the following variables: tonne-km, transport intensity, modal split, division of road tonne-km by vehicle type and weight class, composition of the vehicle fleet, road vehicle speeds, accident involvement, lorry utilisation, road freight traffic forecasts, energy consumption, pollutant emissions, enforcement and infringement of hgv regulations and volumes of international freight traffic by road, sea and air. It concludes with a brief international comparison of freight modal split. (Author/publisher).

M. Piquant [98] : **Le stockage en France – pour une approche des structures et dynamiques spatiales** ; in Les Cahiers scientifiques du transport n° 34 , pp. 53-73.

A partir du fichier des constructions, l'auteur analyse les constructions à destination de stockage et identifie ainsi les structures et dynamiques spatiales des activités de stockage. Il observe, sur la période 1965-95 une diminution des nouveaux entrepôts tandis que la taille moyenne des locaux de stockage croît fortement et une forte concentration dans quelques départements

Ummenhofer [98] : **La logistique dans une perspective d'écologisation : vers l'Eco-logistique-Intégrée**, Thèse de doctorat nouveau régime, Aix-Marseille II – CRET-LOG, 317 p.

Le concept d'Eco-Logistique Intégrée (ELI) est traité en trois parties. La première partie « entreprise et complexité environnementale » est consacrée à la place d'une entreprise industrielle dans un contexte de l'éco-logistique. Elle présente des concepts et des définitions de base portant sur l'écologie, et tente de faire les liens entre les problèmes environnementaux et les activités industrielles et humaines en général. Cette partie introduit la notion de « responsabilisation environnementale » de l'entreprise, en analysant son processus, ses cycles et ses différents niveaux. La deuxième partie porte sur l'analyse de la démarche logistique dans un contexte environnemental prédéfini. Pour l'auteur la logistique se définit comme « la démarche de management par laquelle l'entreprise organise et soutient son activité. A ce titre, sont déterminés et gérés les flux matériels et informationnels afférents, tant internes qu'externes, qu'amont et aval. Dans le cadre de la poursuite des objectifs généraux à laquelle elle concourt, sa mission consiste à permettre l'élaboration de l'offre de l'entreprise et à en réaliser la rencontre avec la demande du marché et avec les différents groupes de prétention de son environnement socio-économique, tant en recherchant systématiquement les conditions d'optimalité dans l'exécution. Sa mise en valeur procédant de différents acteurs, elle est appelée à gérer en ces sens les tensions à leurs interfaces du fait de la non-identité potentielle de leurs objectifs ». Il analyse les impacts environnementaux des activités logistiques. La problématique de la logistique des déchets en général est abordée dans ce chapitre. La troisième partie est consacrée à l'analyse logistique et environnementale de la filière d'élimination des poids lourds hors d'usage (PLHU) : poids et composition en matériaux ; phase, opérations, acteurs et organisation de la filière ; cadre réglementaire environnemental concernant l'élimination des poids lourds ; analyse du système actuel d'élimination des PLHU.

La conclusion porte sur le concept d'Eco Logistique Intégrée (ELI). Selon l'auteur « l'objectif principal d'une démarche logistique dans le cadre d'une politique environnementale d'élimination des PHU consiste à prendre en compte dès la conception du produit les conditions et les exigences logistiques de son élimination, le tous dans une double perspective de réduction de l'impact environnemental de réduction du coût de cycle de vie du produit. Cette démarche du Soutien Logistique Intégrée (SLI) sert de cadre de référence conceptuel pour définir une démarche Eco Logistique Intégrée. La démarche de l'ELI est de rendre transparente en extrême amont du cycle de vie les conséquences économiques et écologiques de l'élimination des PHU, c'est

à dire les enjeux et contraintes en extrême aval du cycle de vie. La démarche ELI permet d'établir le processus de rétroaction de l'aval sur l'amont, à partir d'une intervention lors de la phase de conception.

Niérat P. [98] : **Anatomie d'un réseau intermodal Hub-And-Spoke**, Rapports INRETS N° 220, 75 Pages.
Le transport combiné rail-route connaît ses meilleures performances lorsque les trajets ferroviaires sont effectués par trains complets entre deux terminaux. Quand le volume des flux est insuffisant pour bâtir une offre sur ce principe, l'organisation *hub-and-spoke* donne des résultats intéressants. Au départ de chaque terminal, les wagons sont expédiés par trains complets (les « *spokes* ») vers un triage commun au réseau (le « *hub* »). Là, les wagons se retrouvent au même moment et sont triés pour former de nouveaux trains directs vers les terminaux destinataires. Cette organisation est nouvelle pour le chemin de fer. La dissection d'un réseau *hub-and-spoke* montre comment se construit et se gère une telle offre au quotidien. La méthode livre les performances obtenues par un réseau particulier et dégage quelques principes économiques sur lesquels repose leur rentabilité.

B Legue, Ma Jacobs [98] : **Impact de la réduction des emballages sur l'énergie de transport en fonction de la chaîne logistique de distribution utilisée**, Rapport, 97 P.

Examen approfondi d'une étude menée en 1994 au Danemark pour évaluer le potentiel d'économie d'énergie dans le secteur des transports, suivi de la recherche et la synthèse d'informations relatives à des études similaires. Analyse des sources potentiels de réduction de la génération des déchets d'emballages, d'économies de transports routiers et de diminutions d'émissions polluantes induites ; étude des circuits logistiques retenus (circuits des produits alimentaires, des produits de petit électroménager, des produits cosmétiques) ; synthèse sur le rôle des emballages et conditionnement dans les circuits étudiés ; point de vue de la grande distribution et rôle des nouveaux concepts en matière de distribution.

BCEOM [97] : **Logistique et transport en amont du recyclage, T1 : état des lieux, T2 : exploitation de la base de données SITRAM ; T3 : Opportunités et actions** ; Rapport, 200 pages

Recherche des possibilités de développement des techniques modales pour le transport des déchets de toute nature (déchets industriels, des hôpitaux, tous emballages, etc.). Etude complète sur la logistique et le transport des déchets. Exploitation de la base de données SITRAM. Ce Rapport propose des axes de développement possibles et des recommandations d'actions à mener auprès des acteurs du recyclage.

Mckinnon-a [96] : **Freight distribution and logistics: fuel use and potential savings**; Heriot-Watt univ., Edinburgh, 1996. 95p.

Tixier D., Mathe H., Colin J. [96] : **La logistique d'entreprise**, Dunod, Paris, 1996 287 pages

En matière de logistique d'entreprise, il s'agit d'un ouvrage de référence. Les thèses développées dans cet ouvrage est toujours d'actualité. Longtemps, une affaire de technicien, la maîtrise du concept logistique est devenu enjeu stratégique de grande ampleur. Ouvrage de réflexion, ce livre propose une approche stratégique de la logistique d'entreprise, c'est à dire qu'il se préoccupe avant tout de la détermination des objectifs et du progrès des organisations. Le Livre est divisé en trois parties : la première partie traite de la place de la logistique dans le management : systèmes de management et leur évolution ; armes stratégiques à la disposition des dirigeants ; vecteurs de compétitivité des entreprises ; place de la logistique dans les entreprises ; définition de la logistique d'entreprise ; politiques logistiques et moyens organisationnels mise en œuvre. La deuxième partie porte sur les « politiques et les organisations logistiques ». Cette partie est consacrée à la mise en œuvre des projets logistiques d'entreprise, en s'appuyant sur de nombreuses expériences de terrain. La troisième partie porte sur « les enjeux de la logistique pour l'entreprise et son environnement ». Cette partie porte sur les thèmes suivants : la dynamique logistique (innovation et Europe) ; la montée en puissance des prestataires logistiques (nouvelles tendances du transport de marchandises, frontière du transport de marchandises) ; logistique et territoire (localisations logistiques majeures en France, vers des logistiques européennes polarisées ?) ; futur de la logistique (espace, environnement et prospective).

CERPI [96] : **La mise en place de transport plus respectueux de l'environnement au sein de la logistique des chargeurs : analyse et propositions**, Rapport CERPI, Paris, juillet 1996, 165 pages.

Le document se compose d'une synthèse où sont expliqués les aspects pratiques du problème général de ce que pourrait être une « entreprise propre » en tenant compte du transport, de l'entreposage, des emballages et de leur récupération ; d'un Rapport analytique sur la fonction logistique, l'exploitation logistique, et

l'évolution logistique suivie de conclusions et préconisations ; d'une proposition pour un manuel d'intervention en entreprise à vocation didactique.

McKinnon-A [96] : **Freight distribution and logistics: fuel use and potential savings** ; Heriot-Watt Univ., Edinburgh. 95P

Liedes-m (Mh-Konsultit); Keskitalo-j (mh-konsultit) [95] : **Jakelulogiikan ekotase. (environmental balance of physical distribution.)** ; Ministry of Transport and Communications, etelaesplanadi 13, Helsinki, fin-00130, Finland

This report presents an investigation into the possibilities of reducing the environmental impact of logistics by means of co-operation in the field of physical distribution. This case study, concerning the distribution of food products, was realised in the very scarcely populated area of northern Finland. A system of common distribution was implemented by ten food producers, among them some of the largest companies in Finland. A common service enterprise not only takes care of the distribution but is also in charge of the common recycling and data transfer system. The present report includes an analysis of the reduction in the fuel consumption for distribution, as well as considerations related to creating an indicator that could be used to establish the environmental balance of distribution logistics. An important reduction in the fuel consumption was recorded because of the common distribution system.

F Vanek [94] : **Reducing Freight in Agriculture: a test case using the shipment of fruits and vegetables in the US**, paper written for Systems Engineering 566, "Natural Resource Systems".

This study tests the hypothesis of potential energy savings due to redistribution of production so as to reduce transport distances, for the case of fruit and vegetable distribution in the United States. Part I outlines basic features of the agricultural and transportation sectors in the US which pertain to the calculations made. In part II, the report estimates energy consumption for growing produce in different states and for transportation per unit grown and shipped. Two comparisons, one for a comprehensive transfer of production to minor producing states in the Eastern U.S., and one for the marginal energy benefit of moving one ton of production to each of three minor producing states, both upheld the hypothesis, although weakly in the case of conservative assumptions for energy efficiency of produce agriculture in the east. With these conservative assumptions, efficiency improvements of 5% to 30%, and an overall improvement of 10% aggregated across 7 major items were deemed possible, while with more liberal assumptions about efficiency, the ranges were 30 to 40% and 32% respectively. Caveats at the end of the report outline simplifications to the study and ways that its accuracy could be improved, and the conclusions discuss possible opportunities to make such a transition in the political, economic, and natural resource context.

M. Savy [93] : **Logistique et territoire**, GIP-Reclus, Montpellier, 1993.

R.Brugge, C. Dreher [93] : **L'organisation de la logistique industrielle et ses impacts sur le transport** ; in RTS n° 38/39, juin 93, pp. 121-127.

A partir de l'étude SAST (Priorités scientifiques et technologiques européennes pour la logistique du transport de marchandises) les auteurs font un plaidoyer pour un programme de recherche sur l'eurologistique.

Weigel-B (Locom Consulting GmbH, Karlsruhe) [92] : **Integrating ecological aspects into the simulation and planning warehouse locations.**: WCTR 1992. 1992/07, LET 1992 . 11P

Ab: the traditional methods of evaluating procurement and distribution systems is largely limited to degressive costs (transportation, warehouse and inventory costs). Strategic decisions should preferably also reflect additional factors: time factor, environmental problems, energy consumption, etc. It is wise to consider scenarios at a micro-economic level which cover more than traditional costs.

TER-Brugge-R (INRO-TNO) [91] : **Logistical developments in urban distribution and their impact on energy use and the environment.** Freight transport and the environment, Elsevier 1991. pp331-341 (6 Refs.) Prior to dealing with urban freight distribution, an overview will be presented of the overall freight market and the existing trends in logistics from the point of view of environmental impacts. An illustration will be given of the growing use of automobiles, to prove that this is the main problem to focus on. Subsequently the possibilities and limits of technological developments are given. In a recent study it has been indicated that the use of technical improvements, that are known at the very moment, can curb energy consumption

with 17%. In other words, given the expected growth rates technical solutions are not sufficient. Based on other research it is shown that the organization of transport, for instance the logistical organization can be instrumental in getting a much higher efficiency in transport. Based on these principles the paper evaluates the strategies for freight transport in urban areas. Also the improvement of freight transport in urban areas will ask for a better logistical organization, implementation of information technology and new transport technologies and for measures in the field of physical planning within cities. These measures will be asked for in that order and in their combination. (A) For the covering abstract see IRRD 847440.

Tanja-PT; de-Leijer-HFWJ; ter-Brugge-R [89] : **Logistics, energy, and environment: an exploration of options in logistics and transportation.** transport logistiek, energie en milieu: een verkenning van opties in logistiek en. Report Number: INRO/89/LOG/259

The study examines the relevance of logistical developments for research on energy and environment. The research concentrates on changes in energy consumption in transportation as a result of the changes which have occurred in the logistical organization of enterprises, including transportation companies. Various possibilities are put forward to achieve energy conservation. This requires cooperation and insight in the behavior of the companies involved. Energy and transportation policies of the companies need to run parallel. This requires a strategy for the transportation of goods, both nationally and internationally.

Logicat **Concerted Action on Logistic, Supply and demand & chain management in Europe** ; RTD <http://www.innovation.eutelis.fr/logicat/>

Ce programme européen visait à connaître les projets de recherche en matière de logistique et supply chain management, identifier les besoins de recherches futures dans ce domaine, concevoir les cartes routières pour la logistique et promouvoir le supply chain management et de l'intermodalité en Europe.

6 SCENARIOS, POLITIQUES, EXPERIMENTATIONS ET MESURES PRECONISEES

OCDE [02] : **Stratégies de réduction des gaz à effet de serre émanant du transport routier - Méthodes d'analyse** ; 76 p.

Les émissions de CO₂ dues au transport proviennent à 80 % du transport routier, ce qui correspond à plus de 20 % des émissions globales. Ceci a des conséquences majeures sur le problème de changement climatique. Ce rapport indique les mesures et stratégies adoptées par les pays de l'OCDE pour stabiliser ou réduire les émissions de gaz à effet de serre dues au transport routier ; les cadres utilisés pour évaluer l'impact et l'efficacité de ces mesures et stratégies, les tendances à attendre en termes d'émissions de CO₂ et leurs conséquences pour la mise en oeuvre du Protocole de Kyoto (sur la base des prévisions d'une croissance continue de la motorisation et des distances parcourues), les modèles disponibles pour prévoir le niveau des émissions de CO₂.

Commission des Communautés Européennes [01] : **Livre blanc – La politique européenne des transports à l'horizon 2010 : l'heure des choix** ; COM(2001)370, 121 p.

La nécessaire intégration des transports dans le développement durable n'est que le 4^{ème} point des orientations de la Commission. La question de l'énergie et des pollutions n'est donc abordée qu'à la marge dans ce livre blanc, même si l'objectif central semble être de découpler progressivement la croissance des transports de la croissance économique.

R Darbéra [01] : **Effets redistributifs et allocatifs d'une modification de la TIPP sur les carburants automobiles** ; in RTS n° 72 juil-sept 2001, pp. 37-55

Comme instrument fiscal pour alimenter le trésor public, la TIPP est un impôt régressif ; La réduction des nuisances, que permettrait une augmentation de la TIPP aurait un coût économique beaucoup plus élevé que d'autres mesures plus ciblées.

P. Salini [01] : **Le modèle SIMTRANS-CO₂**, rapport pour l'ADEME

SIMTRANS est un modèle dynamique des systèmes adapté aux politiques de transport et SIMTRANS-CO₂ est un développement de ce modèle, destiné à traiter la question d'un « marché de permis négociables » (PEN). La première partie du rapport présente les mises à jour et les modifications apportées au modèle SIMTRANS ; la seconde traite de l'adjonction d'un secteur spécifique au « marché de permis négociables » et les interrelations existant avec le modèle SIMTRANS. Quelques scénarios, montrent dans la troisième partie les utilisations possibles du nouveau modèle. La quatrième partie analyse les principales boucles causales du

modèle, obtenues après la réalisation et le calibrage du modèle dynamique quantifié. Ce modèle peut servir d'outil d'analyse et de compréhension des problématiques du transport de marchandises en France, compte tenu des problèmes environnementaux, en particulier par le biais de scénarios de toute sorte.

M. Savonis [01] : **Strategic Plan for Transportation and Air Quality Research 2000 – 2010** ; Communication au 80^{ème} Transport Research Board (TRB), janvier 2001, Washington DC, 7 pages

Ce plan stratégique sur 10 ans et porte sur « transport et qualité de l'air » aux Etats Unies. Les domaines d'investigation sont les suivants : régulation et cadre législatif ; état de la situation existante ; nouveaux standards de qualité de l'air et les émissions de polluants ; nouveaux véhicules et standards de carburant ; potentiel de nouvelles technologies. Les besoins de recherche sont les suivants:

- affiner les modèles existants et la qualité des données et statistiques collectées ;
- affiner les modèles intégrant le transport aux modèles d'émissions de polluants ;
- comprendre l'évolution des rapports institutionnels entre les organismes ou agences compétents en matière de transport et de la qualité de l'air ;
- Sur le développement durable, les axes de recherche peuvent être abondants : articulations entre l'économie, l'environnement et l'équité sociale ; Comment pouvons-nous adapter notre cadre analytique traditionnel à l'analyse de ces concepts ? Quelles données faut-il collecter ? Comment intégrer l'aménagement du territoire dans les modèles de transport ?

Mission interministériel de l'effet de serre [00] : **Programme national de lutte contre le changement climatique 2000-2010**, Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 215 p.

Ce programme identifie une centaine de mesures afin que la France ramène en 2010 ses émissions de gaz à effet de serre à leur niveau de 1990, conformément aux engagements de Kyoto.

M. Girault [00] : **Le programme européen Redefine ou comment analyser l'organisation logistique d'un secteur**, Notes de synthèse du SES mars avril 2000, pp 29-32

La méthode suivie dans le projet Redefine pour analyser l'organisation logistique de chaque entreprise ou secteur et son évolution : les ratios et agrégats et les éléments dont dépend cette organisation logistique : localisation des usines, ordonnancement des approvisionnements, leur programmation et les transports.

Ph. Poudevigne [00] : **Les déterminants de la circulation routière de fret en France de 1985 à 95**, Notes de synthèse du SES mars avril 2000, pp 29-36 ;

Evolution des ratios pour l'ensemble des 5 pays participants au projet Redefine : densité de valeur, partage modal, production transportable par route, facteur de manutention (nb moyen de trajets par tonne), distances moyennes, chargement moyen (charge utile et facteur de chargement), parcours à vide. La méthode suivie dans le projet Redefine pour lier l'activité économique au transport de marchandises et à la circulation routière. Evolution 1980-95 pour 14 'familles de produits'.

D. Rouchaud [00] : **L'analyse Redefine par groupe de produits**, Notes de synthèse du SES mars avril 2000, pp 37-40

Analyse macro-économique de l'organisation du transport pour 6 groupes de produits à partir de l'évolution des ratios de la logistique.

M. Girault, F. Leray [00] : **A la recherche des familles logistiques**, Notes de synthèse du SES juil août 2000, pp 29-32

La méthode suivie dans le projet Redefine pour lier l'activité économique au transport de marchandises et à la circulation routière. Evolution 1980-95 pour 14 'familles de produits'.

D. Dron, M. Cohen de Lara [00] : **Pour une politique soutenable des transports**, Rapport au Ministre de l'Environnement, La documentation française, février 2000.

Brodmann U., Spillmann W [00] : **Environnement : méthodes et modèles pour l'analyse des effets environnementaux**, Rapport PNR 41 « transport et environnement », Rapport de Synthèse S3, Berne, 2000

Ce Rapport résume les résultats du Module consacré à l'environnement et à la durabilité et reprend ceux des autres projets qui ont trait à la durabilité, pour les placer dans le contexte scientifique et de politique environnementale. Ce Rapport formule ainsi des recommandations à l'attention des instances politiques et

administratives sur les moyens possibles d'améliorer la compatibilité environnementale et la durabilité des transports.

J. Caceres and D. Richards [00] : **Greenhouse Gas Reduction Opportunities for the Freight Transportation Sector**, David Suzuki Foundation (**Erreur! Signet non défini.**), 2000.

Intergovernmental Panel on Climate Change [00] : **IPCC special report emissions scenarios ; summary for policy makers**; 21 p.

4 familles de scénarios, jusqu'en 2100

IWW (Université de Karlsruhe) [00] : **ASTRA Assessment of Transport Strategies** ; RTD, 48 p , <http://www.iww.uni-karlsruhe.de/ASTRA>

Un modèle a été développé, faisant appel à la dynamique des systèmes, pour évaluer les conséquences des politiques européennes de transport, non seulement sur le système de transport mais aussi sur les autres aspects de la société. Quatre sous-modèles traitent respectivement l'économie, macro et régionale, l'aménagement du territoire, la demande de transport et l'environnement. Les politiques (scénarios) simulées se définissent par le niveau des taxes les investissements d'infrastructures communautaires, la réglementation sur la pollution et la sécurité. Aucune des politiques testées ne permet d'atteindre les objectifs de Kyoto ; aucune n'améliore significativement la sécurité routière ; les gains en matière d'environnement obtenus par le report du trafic routier sur d'autres modes sont presque annulés par la croissance du trafic aérien enfin les politiques de transport testées n'ont qu'un très faible impact sur la croissance du PIB.

N David-Nozay, M Girault [99] : **Quelle politique de taxation des transports ? Effet de serre et coût de la tonne de carbone économisée**, note de synthèse du SES sept oct 99, pp. 14.

Partant du constat que, si les voitures à essence couvrent raisonnablement leurs coûts (y compris externes), ce n'est le cas ni des poids lourds ni des voitures diesel, les auteurs bâtissent le scénario C de couverture des coûts externes par augmentation de la TIPP sur le gazole dans lequel les agents supportent (en moyenne mais non en ville) les coûts marginaux d'infrastructure et les coûts des externalités qu'ils génèrent. Ils bâtissent également un scénario D plus volontariste dans lequel la TIPP est fortement augmentée (de 3.76 à 9 Francs par litre) ainsi que la taxe à l'essieu. Dans ce dernier scénario, la perte de surplus économique pour la collectivité est très importante par rapport au scénario C. La théorie économique indique qu'une stabilisation des émissions de CO2 identique pour l'ensemble des secteurs est plus coûteuse pour la collectivité qu'une taxation unique pour l'ensemble des secteurs.

Commission Européenne [99] : **Les politiques et mesures proposées par l'UE pour réduire les émissions de gaz à effet de serre – vers un programme européen sur le changement climatique PECC** ; communication au parlement européen, com(99)230, 13 p.

OECD CEMT AIE [99] : **Improving fuel efficiency in road freight transport: the role of information technologies**; Workshop proceeding, Paris, february 1999.

A. Morchoine et J.P. Orfeuil [98] : **Transports, énergie, environnement**, Transports, n°390, juillet-août 1998.

G.J. Koopman [98] : **Long-term challenges for inland transport in the European Union : 1997-2010, consequences for transport fuel economy and use**, Fuel and Energy Abstracts, vol. 39, issue 1, january 1998.

M. Girault, MC Grima [98] : **Diagnostic et perspectives à long terme de la demande de transport**, note de synthèse du SES nov. Déc. 98, pp. 19-24

4 scénarios sont analysés pour les marchandises. Dans le scénario A (baisse des prix routiers de 11 %) la croissance annuelle des tkm est de 2,5 % dont 2,9 % pour la route. Dans le scénario B (poursuite des inflexions ; + 7 % des prix routiers) la croissance annuelle des tkm est de 2,3 % (2,6 % pour la route). Le scénario C de hausse sensible des prix routiers (+ 17 %) se traduit par une croissance annuelle des tkm est de 2,2 % (2,5 % pour la route). Enfin dans le scénario 'volontariste' D (+ 65 % des prix routiers par la TIPP et une réduction du temps de travail des chauffeurs routiers) le trafic totl continue de croître (+ 1.8 % par an) de même que le trafic routier (+ 1.9 %)

M Girault [98] : **Perspective d'évolution de la demande de transport à l'horizon 2020**, SES 1998.

La partie consacrée aux transports de marchandises analyse l'évolution de de la demande de transport dans les pays européens et développe des projections à l'horizon 2020, suivant les 4 scénarios du SES, avec notamment un scénario D 'volontariste' de maîtrise de la demande, qui n'a qu'un impact limité sur l'évolution de la demande globale ou de TRM.

SES METL [98] : **Eléments d'évaluation environnementale des schémas de services : effets sur l'environnement des différents scénarios de la demande**, note DAEI SES, 57 p.

Les conséquences environnementales sont chiffrées pour quatre scénarios de la demande de transport à l'horizon 2020 : évolution de la circulation, impact des normes antipollution actuelles et prévues, et effet de l'accord volontaire des constructeurs mais ne tient pas compte des décisions du nouveau programme de lutte contre l'effet de serre. La projection de la demande de transport de marchandises est répartie par modes ; pour la route on y ajoute la circulation des bus et cars et autres poids lourds (militaires, etc.) et des utilitaires légers. Les conséquences de la très forte baisse de consommation moyenne des poids lourds neufs d'ici 2020 devraient être atténuées par l'augmentation de la taille moyenne des véhicules. Seul le scénario D correspondant à une forte augmentation des prix de transport (+ 64 % en 24 ans pour le TRM) permet de ramener les émissions globales de CO2 en 2020 au dessous du niveau de 1995.

M. Girault , J.P. Puig [97] : **Projections de la demande de transport à l'horizon 2015**, note de synthèse du SES jan fév 97, pp. 17-20.

Deux hypothèses de politiques sont retenues : un scénario libéral et un scénario 'volontariste' d'augmentation des prix de transport. Les élasticités prix de long terme retenues, bien que les plus élevées des estimations des modèles, sont assez faibles : -0,3 pour la circulation et - 0,4 pour le TRM. En conséquence, la sensibilité des résultats aux hypothèses de régulation de la politique économique apparaît faible.

JP Orfeuill [97] : **Prospective énergie-transport à l'horizon 2010-2020**, INRETS - DEST, octobre 1997.

JP Meyronneic [98] : **Le transport face à l'environnement**, Editions CELSE, Paris 1998, 179 pages

Cet ouvrage comprend trois parties. La première partie est consacrée à la description du contexte (ascension du transport, victoire de la route, activité énergivore) ; la deuxième partie traite des impacts environnementaux des modes de transports (émission de polluants par sources, pluies acides, effet de serre, effet du bruit, impacts sur les paysages) ; et la troisième partie propose des solutions : aspect réglementation, aspect technique, aspect des coûts et aspect des comportements.

BTCE [96] : **Transport and Greenhouse; Costs and Options for Reducing Emissions**, Bureau of Transport Economics, 1996.

S. Potter and M. Enoch [97] : **Regulations transport's environmental impacts in a deregulating world**, Transport research, part D, vol. 2, n° 4, p. 271-282, 1997.

P. Nijkamp, A. Reggiani & S. Bolis [97] : **European Freight Transport and the Environnement : empirical application and scenarios**, Transportation Research : part D : Transport and Environment, vol.2, issue 4, p. 233-244, Decembre 1997. (La traversée des Alpes et la politique d'infrastructures de l'Europe et des pays concernés)

OCDE [96] : **Conférence de Vancouver - vers des transports durables ; points saillants de la conférence et aperçu des enjeux** ; OCDE 112 p.

La conférence s'est efforcée de préciser pourquoi les systèmes de transport actuels ne sont pas durables et comment assurer des transports durables ; les causes de la croissance du transport de marchandises sont l'augmentation de la production, l'intensité de mobilité et la mondialisation du commerce et la sous-tarifification du transport. Parmi les facteurs qui contribuent à augmenter la mobilité, le rapport mentionne les méthodes du flux tendu 'juste à temps', la dispersion et l'interdépendance des établissements de production (par ex. l'industrie automobile), l'évolution des goûts des consommateurs (fruits importés, hors saison), l'essor du tourisme et de sa logistique, l'évolution spatiale des habitudes d'achat et l'étalement urbain.

P. Komor [95] **Reducing energy use in USE freight transport**, Transport Policy, vol. 2, issue 2, p. 119-128, april 1995.

Schoemaker-T (Delft Univ of Technol, Netherlands) [95] : **a stratified reduction of energy use in the transport system**. IEA – OCDE – CEMT ;Reconciling Transportation, Energy and Environmental Issues: the role of Public Transport. Conference Proceedings, budapest, Hungary, 30 may-1 june1994. P93-101

This paper considers the reduction of energy use in the areas of: (a) transport demand; (b) transport supply; (c) traffic and infrastructure; (d) vehicle technology; and (e) driver behaviour. Figures are supplied for the anticipated consumption of energy in the netherlands for passenger and freight transport by various modes. In each area measures are identified which would reduce energy consumption. These are applied to the passenger and freight figures and savings estimated. Technological improvements to vehicles and engines result in a 38% saving. The use of all the measures described provides a 56% saving.

Westander-P; Haaland-O [95] : **Global transport sector energy demand towards 2020. Final draft report wec tokyo congress**, 8-13 October 1995. Statoil corporate strategy development, stavanger, norway; world energy council congress. 16. 1995. Tokyo. 151p. (diagr., Tables, annexes)

Discussing transport sector energy demand towards 2010, this report is based upon the assumption that an extrapolation of current trends would be insufficient. Therefore, it consists of a discussion on possible "trend-breakers" and an elaboration of three transport scenarios. It is concluded that forceful policy measures are needed to address the problems related to local pollution, while precautionary measures are called for to meet the potential threat of global warming. Although market-based policy instruments are generally the most efficient ones, they need to be complemented by other measures.

Komor-Paul [95] : **Reducing energy use in u.s. freight transport** ; in Transport Policy. Vol. 2, No. 2 (Apr. 1995) P. 119-128

Takagi-t, Okada-k, Takahashi-s (nissan motor co ltd, japan 95) **An advanced freight transportation system for medium distances**. Proceedings of the second world congress on intelligent transport systems '95 yokohama, november 9-11, volume ii. 1995. Pp1005-10

In this paper an advanced freight transportation system that is more efficient than conventional trucking for medium distances (300 to 500 km) is proposed. Three trailers are mechanically coupled at a logistics center located close to an expressway interchange. This multi-coupled vehicle runs only on the expressway. Then, the trailers are de-coupled at another logistics center just off the expressway. Braking is done electronically, and the vehicle position is monitored electronically to increase delivery efficiency. This system, compared with a conventional trucking, significantly reduced manpower, CO2 emissions, energy consumption, and transportation costs. It provides excellent commercial and social benefits. (A) For the covering abstract see IRRD 881118.

Blakemore T. [1995] : **Conflicting entries in energy balance sheets** ; Transport Engineer. 1995/04. P10-11,14

The efforts which have gone into evaluating alternative fuels for vehicle fleets were discussed at the annual freight transport association's conference. Excel logistics has experimented with greenergy, the swedish ultra-low sulphur, low-aromatics diesel fuel. The effects on emissions, fuel consumption and power output are considered. The use of rape seed oil methyl ester (rsme) has been similarly on trial with the royal mail. Here the effects on maintenance are also of concern although the verdict on rsme was generally favourable. Boc distribution services had been using compressed natural gas. Fuel quality had been a problem. Figures are provided showing the reductions in emissions obtained. In all cases fuel prices were the greatest disincentive to their use.

Grenzeback-LR [1995] : **Expanding metropolitan highways: implications for air quality and energy use. Appendix c: impact of changes in highway capacity on truck travel**. Transportation Research Board Special Report. 1995. (245) pp310-344 (5 Fig., 2 Tab., Refs.)

The impact of changes in highway capacity on truck travel in metropolitan areas is discussed in this appendix. At issue is whether highway capacity improvements induce truck travel and, conversely, whether restricting highway capacity dampens truck travel. The answers are needed to inform the debate about the impact of changes in highway capacity on congestion, air pollution, and energy consumption. In the first section, the author argues that, in the short term, changes in highway capacity are not likely to result in

significant changes in truck travel. The three major reasons for this argument are the marginal nature of most changes in highway capacity today, the moderate exposure of trucks to severe congestion, and the overriding influence of low freight transportation costs. Reviewed in the second section is the fragmentary evidence on the specific responses of motor carriers to changes in highway capacity, the primary ones being changes in the time of travel, route, and mode. Structural changes in the economy, freight logistics, and trucking that may make truck travel more sensitive to changes in highway capacity in the future are discussed in the third section. These trends include a shift toward longer and more time-sensitive supply chains and distribution networks that leave trucks exposed to congestion and a countervailing shift toward the use of information technology to improve the productivity and flexibility of freight transportation. In the fourth section research findings are reviewed on the relationship between truck accidents and congestion, which suggest that reducing peak-period congestion may reduce the frequency of common accidents, but will have little effect on the frequency of major truck accidents, which tend to occur during uncongested off-peak periods. The state of truck travel modeling and the data available to transportation planners and engineers to analyze trucking issues are reviewed in the fifth section. In the final section the author's conclusions are summarized and the implications for highway capacity planning, air quality, and energy use are discussed.

Van-Binsbergen A; Knibbeler G; Kraan MM [94] : **Environmental preconditions for sustainable development: the dutch study: "new course freight transport"**. Environmental issues. Proceedings of seminar c held at the 22nd ptrc european transport forum, university of warwick, england, september 12-16, 1994. Volume p375. 1994. Pp31-8

This paper describes a study into the effect on economic growth of reducing the environmental impact of freight transport. A 'Basic Scenario 2015' is described which extrapolates the trends of 1990. The environmental effects are described and the need for a New Course Scenario identified. The New Course Scenario utilises technological improvements to vehicles, the optimisation of logistics and a shift to environmentally sound modes of transport. The environmental effects of the two scenarios are compared with sustainability targets. The New Course Scenario reaches NOx targets but just fails CO2 emission and energy consumption targets. The effects on economic development of the two scenarios are similar. Possibilities beyond the year 2015 are discussed. For the covering abstract see IRRD 868850.

Van-Der-Vlist-MJM, Rujigrok-CJ (INRO-TNO) [93] : **Trend breach scenario for freight transport. The green logistics scenario (Trendbreukscenario goederenvervoer. Het groene logistiek scenario.)** IV+48P (6 Refs.), INSTITUUT VOOR RUIMTELIJKE ORGANISATIE INRO-TNO, P O BOX 6041, DELFT, 2600 JA, NETHERLANDS

This report describes a study into the 'Green Logistics' scenario. This is one of the three working scenarios within the Dutch 'Trend breach scenario' for freight transport. The report makes an inventory of the possibilities to reduce the energy consumption in freight transport through a modification of its logistic organization. The possibilities are examined that are already available now or will be available before the target year 2015. The main conclusions are as follows: (1) The transport organization using heavy and optimal loaded vehicles could reduce substantially the number of trips and kilometers travelled. The results show an energy consumption reduction of up to 25%; (2) A very efficient organization of empty movements could give an energy use reduction of up to 4% of the total energy consumption in transport; and (3) it will be necessary to centralise the information on demand and supply of transport in order to achieve the energy use reduction. This information should be available from all possible locations.

OECD [92] : **Cargos routes: itinéraires et réseaux pour véhicules lourds**, OECD, 1992.

Reform – **Research on Freight platforms and freight organisation**, RTD

Sur la base d'une analyse détaillée de 96 plates-formes publiques de fret, un manuel a été conçu pour les autorités locales et les transporteurs, qui donne des conseil et une méthode d'évaluation de nouvelles pates-formes (aspects financiers, organisationnels, équipements et technologie, évaluation des impacts). Les impacts de telles plaes-formes se mesurent principalement par l'évolution de la circulation des camions, de l'émission de nuisance et de congestion.

7 TRANSPORT DE MARCHANDISES EN VILLE ET DISTRIBUTION, LOCALISATION

Fresneau et al. [00] : **Bilan environnemental du transport de marchandises en ville** ; Communauté urbaine de Bordeaux, 117 p.

Beauvais Consultants [00] : **Stratégies de localisation de la grande distribution alimentaire**, Rapport d'étude pour ADEME-PREDIT

Mis au point d'un modèle « prix-temps, densité-vitesse » ayant pour objet de déterminer la localisation qui maximise le profit du distributeur pour une répartition donnée de la population, une valeur que cette population attache au temps gagné, une vitesse de circulation sur l'infrastructure routière, et un différentiel de prix entre l'hypermarché et le commerce de proximité, puis application au cas de la région urbaine de Tours-Blois-Orléans.

Gérardin B, Patier D, Routhier JL et Ségalou E [00] : **Diagnostic du Transport de marchandise dans une agglomération – Programme National Marchandises en ville**, - METL-DRAST, 85 pages (+ le CD-Rom). Ce document technique, élaboré à partir du savoir-faire acquis à l'occasion des trois grandes enquêtes de Bordeaux, Dijon et Marseille, précise la méthode qui permet de calculer la génération de mouvements de marchandises sur la base du fichier SIRENE des établissements de l'INSEE.

BNSF [00] : **Providing Environmentally Sound Transportation**, Annual Environmental Report of the Burlington Northern Santa Fe Railroad, Burlington Northern Santa Fe Railroad (Fort Worth (**Erreur! Signet non défini.**)), 2000.

Iabg [00] : **Reducing congestion by reducing new concepts of transport** ; RTD, 81 p. <http://www.etsu.co.uk/reconnect/reconnect.html>

Parmi les nouveaux concepts évalués dans le cadre de ce projet européen, 2 touchent le fret : les transports souterrains, tel le 'Underground Logistic System', proposé à Amsterdam, dans lequel la distribution urbaine se ferait par des véhicules automatiques électriques, roulant dans des tunnels. Le coût de l'infrastructure en constitue le principal handicap. D'autre part les dirigeables sont qualifiés de 'prometteurs', notamment pour les marchandises lourdes ou encombrantes, car ils remplacent à eux seuls toute la chaîne de transport, du chargeur jusqu'au destinataire sans qu'aucune rupture de charge ne soit nécessaire.

A Fresneau, A Albergel, C de Rham [00] : **Bilan environnemental du transport de marchandises en ville**, ADEME & EDF, Communauté urbaine de Bordeaux, ARIA Technologies Avril 2000, 117 p.

Le présent rapport expose la méthodologie mise en œuvre pour établir le bilan environnemental du transport de marchandises dans la Communauté Urbaine de Bordeaux et détaille les résultats obtenus concernant la pollution atmosphérique, la consommation d'énergie et le bruit. Le trafic est défini par trois composantes : 1/ les véhicules particuliers, 2/ les flux qui composent le trafic de marchandises en ville : flux inter établissements + flux dits "annexes" + flux de véhicules particuliers pour le motif achat, 3/ les flux de transport de marchandises en transit. Par ailleurs, les résultats sont donnés pour l'heure de pointe du matin, l'heure de pointe du soir et pour une journée moyenne. Enfin, les effets de circulation sur la qualité de l'air sont évalués pour deux situations météorologiques représentatives de la région étudiée : une situation fréquente, une situation pénalisante du point de vue de la dispersion atmosphérique.

Patier . [99] : **Fret urbain : le poids des chiffres** ; Transport & Business, n° 2, pp. 1999, 130-133.

Dans cet article, issu d'un dossier de la Revue Transport & Business consacré au fret urbain, sont présentés quelques résultats issus des enquêtes sur les transports de marchandises à Bordeaux, Dijon et Marseille : répartition des mouvements et des parcours selon les activités, les parcours urbains, les modes d'organisation, les pratiques de stationnement, etc.

J. Boerkaamps [99] : **GoodTrip a new approach for modelling and evaluation of urban goods distribution/Le modèle GoodTrip estime les flux de marchandises, le trafic urbain et ses impacts**; Proceedings from the 2nd KFB research conference, Lund Sweden 06/99 pp. 229 239

This paper discusses the theory and application of the model which is based on logistical chains. Liveability and accessibility of urban areas are influenced by freight traffic resulting from logistical choices in the supply chain, like warehouse location, delivery frequencies, vehicle type and routing. To support decision making it is necessary to model these choices and their effects, in current and future situations. In GoodTrip the logistical chain links activities of consumers, supermarkets, hypermarkets, distribution centres and producers. Based on consumer demand, the GoodTrip model calculates the volume per goods type in metres cubed in every zone. The goods flows in the logistical chain are determined by the spatial distribution of activities and the market shares of each activity type - consumer, supermarket, hypermarket, distribution

centre, etc. This attraction constraint calculation starts with consumers and ends at the producers or at the city borders. A vehicle-loading algorithm then assigns the goods flows to vehicles. A shortest route algorithm assigns all tours of each transportation mode to the corresponding infrastructure networks. These results in logistical indicators, vehicle mileage, network loads, emissions and finally energy use of urban freight distribution. GoodTrip is a tool to evaluate different concepts of freight distribution from both a societal as economical viewpoint, by using geographical, economical and logistical data. This was done in a case study for the City of Groningen. The modelling approach is innovative and the first results are promising. Model output discriminates clearly between different alternative freight distribution concepts. The modelling results comply with empirical data and real life experience. For the covering abstract of the conference see ITRD E205613. (A)

Monticelli M. & Carrara M. [99] : **Freight distribution forecasts for the year 2006. Results of the Delphi Survey**,., Rapport pour le compte de Fiat et Iveco, Centro Studi sui Sistemi di Trasporto, Torino, 25 pages. Résultats d'une enquête (méthode DELPHI), menée pour le compte de Fiat, Fiat Auto et Iveco, auprès d'experts (analystes des transports, économistes, sociologues, transporteurs, institutionnels, ...) sur les prévisions d'évolution de la distribution des marchandises à l'horizon 2006. Sont tour à tour examinés l'évolution des structures urbaines et de la localisation des habitants, les politiques de gestion de la ville, l'évolution du secteur du commerce et des comportements d'achats, les chaînes logistiques et le secteur des transports. A partir de ces éléments d'évaluation, des prévisions de l'impact sur les transports de marchandises en ville au travers de 5 variables ont été effectuées: poids moyen d'une livraison, volume moyen d'une livraison, fréquences des livraisons, longueur des tournées, part du compte d'autrui.

PLANISTAT [99] : **Transport des déchets ménagers et assimilés. Exploitation spécifique de l'enquête ITOMA 98**, Rapport final pour le compte de l'ADEME, 62 p.

Etude réalisée sur les flux de déchets ménagers et assimilés dans les agglomérations de Bordeaux, Dijon et Marseille, à partir des données de l'enquête ITOMA (Inventaires des Installations autorisées de Traitement, tri, transit ou de mise en décharge des Ordures Ménagères et Assimilées). Les flux sont définis par type de déchets, une quantité, une origine / destination caractérisée par une commune et un mode origine / destination (collecte, incinération, transit ..). Sont distingués les flux entrant, sortant, internes, traversant l'agglomération, calculés les distances O/D, le nombre de trajets, les quantités en tonnes / km. Une évaluation de la consommation d'énergie et des émissions de polluants est également proposée. A noter que les données ne concernent que les installations de traitement, de tri et d'élimination des déchets ménagers et assimilés et ne prend donc pas en compte les flux de transport générés par la collecte de ces déchets auprès des particuliers, des entreprises.

Christian N. Madu [99] : **A Decision Support Framework for Environmental Planning in Developing Countries** ; Journal of Environmental Planning and Management, Volume 42, Number 3/May 1, 1999; pp 287 - 313

Patier D. [98] : **Les camionnettes de livraison dans les rues de Bordeaux**,., Les Annales de la Recherche Urbaine, n° 78, pp. 103-108.

Après un rapide tour d'horizon des enjeux du transport de marchandises en ville et de la genèse du Programme National de Recherche lancé sur ce thème, l'article présente de façon relativement détaillée les objectifs poursuivis par l'enquête quantitative de Bordeaux (estimer le nombre de livraisons et d'enlèvements, principaux générateurs, organisation des mouvements, produits transportés, ...) ainsi que la méthodologie mise en œuvre : enquête établissements, enquête chauffeurs livreurs, enquête transporteurs. Un panorama général du transport de marchandises dans l'agglomération bordelaise est ensuite dressé : deux fois plus de livraisons que d'enlèvements, un tiers des mouvements générés par le commerce de détail, relation entre mode de gestion, activités et type de véhicules utilisés, la majorité des livraisons donne lieu à un stationnement illicite, la forte utilisation des plates-formes.

Morcheoine A., Ripert C [98] : **Transports de marchandises en zones urbaine, une responsabilité importante dans le bilan énergie / nuisance des agglomérations**,. Note de synthèse, ADEME – Direction des Transports, Paris, janvier 1998, 9 Pages

Cette note présente : les évolutions du transport de marchandises en zone urbaine (effets de l'évolution urbaine, des réglementations) ; le mauvais état des connaissances des trafics de marchandises en ville ; quelques ordres de grandeurs pour le transport de marchandises en ville ; la loi sur l'air et l'utilisation

rationnelle de l'énergie et le transport de marchandises ; les premiers résultats du programme sur les transports de marchandises en ville en matière de bilans environnementaux (Ile-De-France et Aquitaine) ; le cas des grandes surfaces ou la livraison finale à la charge du client (2 scénarios : Ile-De-France et Aquitaine).

CERTU-MELT-ADEME [98] : Plans de déplacements urbains – Prise en compte des marchandises, , Coédition CERTU-ADEME,

Ce Guide se veut une contribution à la connaissance des réalités complexes de la logistique urbaine. Il veille à l'intégration d'une action sur les marchandises lors de chacune des étapes de l'élaboration d'un PDU. Ce guide se présente aussi comme un recueil d'informations et il fournit également un aperçu sur les expériences étrangères.

Routhier J.-L. & Aubert P.-L. [98] : FRETURB : un modèle de simulation des transports de marchandises en ville, Paper presented at the 8th World Conference on Transport Research, Antwerp, 9 p.

Présentation de FRETURB, modèle de simulation du transport de marchandises en ville. Il est basé sur les résultats d'une enquête quantitative menée dans l'agglomération bordelaise en 1994. Celle-ci a permis d'estimer le nombre de livraisons et d'enlèvements de marchandises générés par les établissements industriels, commerciaux et tertiaires et de mettre en évidence des liens logiques entre les types d'activités et leurs localisations, le mode d'organisation du transport de marchandises lié à ces activités, les modes de gestion, les types de véhicules mis en jeu, etc. Sur la base d'un ensemble de ratios et de relations fonctionnelles explicatifs des différents mouvements de véhicules de transport de marchandises en milieu urbain, ce modèle expérimental permet une description des perturbations engendrées par ces activités au travers d'une mesure de la densité d'occupation de la voirie par les véhicules utilitaires à l'arrêt ou en circulation selon un découpage zonal. En outre, une telle approche tenant compte des principaux déterminants de la génération des mouvements et des liens entre les activités doit permettre de fournir une mesure, en termes d'occupation de la voirie, des effets de différentes actions envisagées pour remédier aux dysfonctionnements observés.

Moati P. & Pouquet L. [98] : Stratégies de localisation de la grande distribution et impact sur la mobilité des consommateurs, CREDOC, 115 pages.

L'objet de cette étude est de tenter d'alimenter la réflexion sur l'avenir de la mobilité des consommateurs en considérant les évolutions probables des stratégies des entreprises de distribution, de manière générale (positionnement stratégique) et en matière de localisation en particulier. Toute prospective concernant la mobilité des consommateurs se doit d'intégrer les révisions de stratégies actuellement en cours ainsi que la nouvelle configuration de l'appareil commercial qui en sera issue. Le premier point traite de l'environnement de la distribution et des mutations récentes qui sont intervenues dans ce secteur. Quant au deuxième point, il est consacré aux principales stratégies d'adaptation des entreprises de la distribution face à l'épuisement du régime de croissance extensive: 1/ relance de la croissance extensive (diversification interne et externe), 2/ engagement dans la croissance intensive (stratégies de segmentation et de diversification, recherche de nouveaux modèles organisationnels). Enfin, dans le troisième point, les auteurs étudient les conséquences de ces nouvelles stratégies sur la localisation des points de vente. La recherche d'une cohérence entre les caractéristiques du site d'implantation et le positionnement stratégique de l'enseigne entraîne un processus de spécification des pôles commerciaux et donc une complémentarité entre ces derniers et par voie de conséquence entre la périphérie et les centres-villes. Sont également discutés les enjeux du commerce électronique.

M Brown, J Allen [98] : Strategies to reduce the use of energy by road freight transport in cities, Transport Logistics, vol. 1 n° 3, 1998, pp. 195-209

L'objectif de cet article est à la fois de présenter quelles sont les composantes du transport de marchandises en ville (TMV), d'indiquer son importance, d'évaluer son impact (quantification du trafic, de l'énergie consommée, des émissions de polluants) ainsi que ceux de différentes mesures de politique. Après une présentation des enjeux du TMV et de quelques données générales sur le plan national (Grande-Bretagne), les résultats d'une enquête sur les TM à Londres sont exposés : 1,15 millions de mouvements de véhicules utilitaires dans l'agglomération de Londres, le TMV représente 12 % de l'ensemble des véhicules-kilomètres mais respectivement 22 %, 26 % et 68 % des émissions de CO₂, Nox et de particules. Sont également présentés de façon détaillée divers scénarios (interdiction des poids lourds, accroître les taux de chargement, utilisation de centres de distribution urbaine, etc.) ainsi que les simulations des effets attendus sur le nombre de mouvements, de véhicule-kilomètre, sur la consommation de carburant et sur les émissions de CO₂. Il

apparaît que le scénario le plus favorable est l'amélioration des taux de chargement qui favoriserait les tournées aux dépens des traces directes, alors que l'interdiction des poids lourds serait le plus néfaste. A noter que les auteurs considèrent que les transports de marchandises en ville devraient également inclure les déplacements pour achats des particuliers. Les flux de marchandises à Londres représenteraient alors 22 % des véhicules-kilomètres parcourus et 27 % de la consommation de carburant.

Beauvais Consultants [98] : **Flux d'achat ville d'Orléans**, Rapport, mars 1998, 40 pages

Ce rapport fait une comparaison des différentes formes de distribution du point de vue des flux de transport générés entre les magasins et les domiciles des acheteurs et des consommations d'énergie qui en résultent. La première étude porte sur la comparaison entre le commerce en centre-ville et les centres commerciaux situés dans les ZAC périphériques. La seconde étude traite de monographies de surface de vente, en l'occurrence d'un hypermarché en centre-ville et des halles aussi en centre-ville. Evaluation du nombre de grammes équivalents pétrole consommé pour un même montant d'achats.

European Commission Directorate General Transport [98] : **Cost 321 - Urban goods transport - final report of the action** ; DG7, 336 p

L'action COST 321 a étudié la conception et l'opération de mesures innovantes visant à améliorer la performance environnementale du transport urbain de marchandises. Les Douze pays européens (Denmark, France, Finland, Germany, Greece, Italy, The Netherlands, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, United Kingdom) qui ont participé ont analysé la réduction de pollution atmosphérique, de bruit et de consommation d'énergie liée à l'optimisation de l'usage des camions dans le trafic urbain, par application de concepts logistiques modernes et de mesures administratives appropriées. Les effets économiques ont également été pris en compte et des recommandations sont faites en vue d'une application à l'Europe entière ; le travail comprend aussi des rapports par pays.

Morris AG, Kornhauser AL, Kay MJ [98] : **Urban freight mobility - Collection of data on time, costs, and barriers related to moving product into the central business district** ; FREIGHT TRANSPORTATION, TRANSPORTATION RESEARCH RECORD (1613): 27-32 1998

Just-in-time deliveries and lower inventories have led to more frequent deliveries of goods and services, markedly increasing urban congestion. The Goods Movement in the New York Metropolitan Area study's goal was to develop a research methodology for capturing urban freight mobility data and to collect cost and time data on freight moving into New York City's central business district (CBD). The methodology developed and its implementation are discussed. Problems with access and collecting data from industry executives are also addressed. In industry-sector focus groups, senior logistics executives discussed urban freight mobility issues, especially barriers to goods movement into the CBD. Barriers consistently identified in order of greatest frequency of mention from 13 focus groups were congestion, inadequate docking space, inadequate curb space for commercial vehicles, security, and excessive ticketing of high-profile companies. The Freight Mobility Interview form asked logistics/transportation/distribution managers to provide company-specific information about the following categories: transportation services and distribution channels used and related cost, time, and barriers to freight mobility. Analysis of the interview data revealed that major barriers to freight mobility identified by both shippers and carriers were consistent with those cited by focus group participants. The combined qualitative and quantitative data collected identified the processes industry uses to manage urban congestion.

Antun J, Mallorquin M, Toledo I, Briceno S [98] : **Logistics operators for physical distribution of goods in Mexico City: a strategy for mitigating emissions** ; INTERNATIONAL JOURNAL OF VEHICLE DESIGN 20 (1-4): 344-350 1998

The National Institute of Ecology (INE) and the United States Agency for International Development (USAID) entrusted the Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales of the Instituto de Ingeniería-Universidad Nacional Autónoma de México, with studying logistics strategies aimed at changing the structures of demand management for goods transport in Mexico City, and at diminution of greenhouse effect emissions. The current study is aimed at: (1) analysing logistic practices of large distributors; (2) assessing the level of use suppliers cross-docking centres; (3) measuring energy savings and pollutant emission diminution for distribution operations using groupage system; and (4) drawing up strategic recommendations for managing goods transport demand with specific incentives. The paper presents the first results obtained: (I) comparative analysis of logistic

practices for supermarkets; (2) the; state of the art for leading logistic operators (strategic alliances with distributions companies and suppliers); and (3) quantitative assessment of mitigated emission levels after a number of case studies from various metropolitan scenarios as a function of the use level of logistic distribution operators (cross-docking, storing and pick & pack system).

A Morcheoine [97] : **Transports de marchandises en ville, une responsabilité importante dans le bilan énergie, nuisance des agglomérations** ; Communication au Premier Carrefour Prédit, Poitiers, 1997, 7 p.

Après une présentation des facteurs qui ont influencé l'évolution du transport de marchandises en ville (évolution urbaine, évolution logistique, évolution du conditionnement des produits, réglementation), quelques données sur le transport de marchandises en ville sont exposées (trafic, émissions de polluants, bilan énergétique). Compte tenu des enjeux, il y a la nécessité de considérer les transports urbains de marchandises comme un service public au même titre que les transports en communs.

Isis Paris 1 [97] : **Bilan environnemental du transport routier de marchandises en Ile de France**, ADEME et EDF 1997.

Ce bilan environnemental du TRM en Ile-de-France, a pour objet d'établir la part de responsabilité des poids lourds (plus de 3,5 tonnes) par rapport à l'ensemble du trafic routier en milieu urbain en tenant compte de la consommation d'énergie, de la pollution atmosphérique, du bruit le long des axes routiers et des accidents de la circulation. La situation tendancielle est peu favorable et des mesures visant à maîtriser l'augmentation du trafic poids lourds en IDF et à en limiter les nuisances sont indispensables.

Beauvais Consultants [97] : **Formes de distribution commerciale et génération de déplacements**, Rapport pour le METL-DRAST, 53 Pages

Dans ce Rapport, les flux amont ont été reconstitués sur la base d'entretiens avec les directeurs d'entrepôts et des magasins de la grande distribution de Tours (hypermarché, supermarché, commerce de gros). Les flux aval ont été estimés à partir d'enquêtes par questionnaire en sortie de caisse auprès des clients de quatre surfaces de vente.

Ambrosini C., Bossin P., Durand S., Gelas P., Patier D., Routhier JL.[97] : **Transport de marchandises en ville : enquête quantitative réalisée à Bordeaux**, Rapport final pour le compte de la DRAST, l'ADEME et la CB, LET, Lyon, 233 pages.

Rapport final sur la première enquête quantitative sur les transports de marchandises en ville réalisée dans le cadre du Programme National de Recherche "Transport de Marchandises en Ville". Ne sont pris en compte que les mouvements de marchandises générés par les établissements industriels, tertiaires et commerciaux. Après une présentation générale de l'enquête (méthodologie, apurement et redressements, etc.), un grand nombre de résultats généraux et d'exemples d'exploitations spécifiques sont présentés sous forme de fiches organisées en trois blocs : 1/ la respiration de la ville (nombre de mouvements, nature des mouvements, rythmes, etc.), 2/ les équipements et l'environnement des établissements (caractéristiques de la voirie, parc automobile des établissements, stationnement, moyens de manutention, etc.), 3/ les conditions des mouvements (les parcours, les mouvements et les types d'activité, les véhicules utilisés, le stationnement, les distances parcourues, etc.). dans un bilan critique sont également présentés les limites et les précautions relatives à l'utilisation des données de l'enquêtes ainsi qu'une évaluation de certains flux de marchandises non pris en compte par l'enquête (flux postaux et hospitaliers, livraisons à domicile, déplacements pour achats des particuliers, transports de déchets).

Netter J-P., Freiman B., Yaniv G. [97] : **Pré-définition des matériels de transport de marchandises en ville**, Etude menée pour le Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports et du Tourisme dans le cadre du PREDIT, DIAGMA Consultants, 10 pages.

Cette étude sur la définition d'un "véhicule idéal de livraison en ville" s'appuie notamment sur les résultats d'entretiens menés à Paris, Lille et Bordeaux auprès d'acteurs (destinataires, chauffeurs, transporteurs, chargeurs) de trois filières : les livraisons de boissons dans les cafés, les livraisons aux grandes surfaces, la messagerie. Trois scénarios ont été élaborés par les acteurs selon le volume à livrer : 1/ le scénario "gros volumes" qui correspond aux transporteurs de gros volumes et aux fabricants qui attendent un véhicule à volume et tonnage important capable d'effectuer des livraisons concentrées, le déchargement doit se faire sur le côté, importance du type de manutention, le véhicule doit être maniable, ... Convient bien au scénario du type "livraison de nuit", 2/ le scénario "petits volumes fractionnés" qui correspond aux transporteurs de messagerie, aux récepteurs et aux représentants des organismes publics. Les véhicules sont petits, rapides,

maniabiles, disposant d'une logeabilité intérieure importante et la capacité d'accès et d'ouverture doit être importante. Convient bien au scénario du type "centre logistique urbain", 3/ le scénario hybride où l'approche entre un centre de distribution urbain et la zone de livraison se fait avec un camion gros volume et la distribution finale se fait soit avec un camion petit volume, soit par les destinataires finaux ("boîte aux lettres"). En outre, il ressort des entretiens un certain nombre de caractéristiques communes au véhicule urbain : forme et "look" acceptables par les usagers urbains, bonne signalisation de sécurité, plancher bas, cabine confortable avec une vision panoramique, véhicule et éléments de manutention peu bruyants, etc.

ARIA (Colombes) et Systems Consult (Berne) [97] : **Bilan environnemental du transport de marchandises en ville, transit compris. Communauté urbaine de Bordeaux**, Rapport pour le compte de l'ADEME et d'EDF, juillet 1997.

Ce Rapport a procédé d'abord à une reconstitution du trafic, puis à la traduction du trafic en pollutions (atmosphériques et sonores) et en consommation de carburant. Il ressort globalement que les consommations de carburants comme les émissions polluantes ou sonores, sont très corrélées avec l'importance de la circulation ; les zones les plus touchées sont le centre-ville et les zones traversées par les voies sur berges ou les voies rapides.

Isis [97] : **Bilan environnemental du TRM en Ile de France** ; ADEME.

Minato -K (JAPAN AUTO RES INST) [96] : regarding road freight vehicles in the urban environment. in towards clean transport. Fuel-efficient and clean motor vehicles. Conference organised by the OECD and the IEA. Hosted by the government of Mexico. 1996. pp253-9

Traffic congestion in Tokyo, Osaka, and other large Japanese cities has become so severe that the environmental problem of air pollution is now the main theme. In the busy urban centre of Tokyo, efforts at improving the situation are being focused on road freight vehicles, as they have strong economic and environmental effects. Hitherto, policies have mainly attempted to reduce exhaust emissions, but it is also necessary to improve freight vehicle transport efficiency, and analyse how this will improve the urban environment. In Tokyo, freight transport efficiency has become especially bad, with energy consumption of 1600kcal per tonne-km, compared with only 450kcal in the Chyugoku area of Japan. Improvements could be obtained from new forms of road preparation, better servicing and maintenance, and a more viable distribution system. They would lead to much lower carbon dioxide emissions. In Japan, about 80% of lorries are light lorries, which cover about 50% of freight mileage but carry only about 10% of road freight. The carrying efficiency of these light lorries has been decreasing. Some progress has been made in developing a logistics system to improve this situation. Doubling the load capacity use of freight vehicles could more than halve their energy consumption and greatly reduce carbon dioxide emissions. For the covering abstract, see IRRD 886884.

CAIRNS S. [96] : **Delivering alternatives : success and failures of home delivery services for food shopping**, Transport Policy, Vol 3, N°4, Pages 155 à 176

Cet article met en évidence le fait que le succès d'un service de livraison à domicile dépend de sa simplicité, de sa fiabilité, du nombre de produits proposés, de la compétitivité des prix.

Patier D., Routhier J.-L. [96] : **Les livraisons de marchandises en ville: quelques résultats marquants de l'enquête quantitative de Bordeaux**, Transports Urbains, n° 91, pp. 11-14.

Synthèse des premiers résultats de l'enquête sur le fret dans l'agglomération de Bordeaux, qui étudie les "mouvements" de marchandises générés par les activités économiques. L'enquête part des établissements industriels, commerciaux et de services pour reconstituer les circuits logistiques urbains. Inclut les véhicules légers. Quantifie des intuitions et infirme les idées reçues.

Morcheoine A., Dufour J.-G., Fritsche J.F., Ripert C. [96] : **Transports de marchandises en ville, A1 : Transports de marchandise en ville, une responsabilité importante dans le bilan énergie / nuisances des agglomérations, A2 : Le programme « Transports de marchandises en ville » : quelques repères pour une approche globale**, Article in Transports Urbains N° 91, 13 pages

Il s'agit d'un panorama du transport de marchandises en ville et de son organisation : évolution du transport de marchandises au cours du temps, conséquence de l'évolution de la morphologie urbaine. Exposé du Programme « Transports de Marchandises en Ville » dont l'objectif est de construire une démarche d'analyse des flux logistiques urbains, dans leur ensemble et reliée aux activités génératrices.

Savy M., Dablanc L., Massé F. [95] : **Transport de marchandises en ville : une vision européenne**, Rapport pour le CERTU, Centre d'Etudes sur les Réseaux, MELATT, Paris, 94 pages
Résultats des enquêtes de terrain en Allemagne, à Monaco, aux Pays-Bas et en Suisse, pour réunir des informations originales sur le problème du transport de marchandises et de la ville et bénéficier des expériences étrangères dans ce domaine. Analyse comparative des éléments recueillis.

ACT Consultant [95] : **Etude qualitative du programme "Transport de marchandises en ville"**, Rapport pour le compte de l'ADEME, du CERTU et de la DTT, 1995, 131 p.

Parallèlement aux enquêtes quantitatives sur les transports de marchandises en ville, le programme national de recherche a initié une étude qualitative sur ce thème. Il s'agissait de comprendre la genèse et le fonctionnement du système de transport de marchandises en ville pour mieux définir les possibilités des différentes actions à mener pour pouvoir agir ultérieurement par anticipation. Pour ce faire, une enquête en trois phases a été réalisée : enquêtes sur Bordeaux (les grands opérateurs de transport, les chargeurs et la grande distribution, les organismes institutionnels, les gestionnaires de plates-formes), enquête sur Rennes (compte propre, les bases logistiques des réseaux des franchisés, le petit commerce de centre-ville et des rues piétonnes), enquête postale sur un échantillon de différentes villes tests.

A Morcheoine, B Bresse, JP Orfeuil [95] : **Energie, environnement et déplacements urbains: quelques points de repère** ; Transports Urbains, vol. 89, 1995, pp. 5-13.

Bilan des différents modes terrestres, voyageurs et marchandises, en matière de nuisances environnementales et d'efficacité énergétique. Met en lumière que les transports urbains de marchandises doivent faire l'objet d'une attention toute particulière.

A. Morchoine [94] : **Energie nuisances et Transport de marchandises en ville**, CNT, 1994.

A Morcheoine [94] : **Energie, nuisance et transports de marchandises en ville**, rapport présenté au Conseil National des Transports, ADEME, 1994, 8 p.

Un des premiers essais de quantification globale des nuisances du fret en ville. Le transport des marchandises est responsable de près de 40 % de la consommation d'énergie et de 30 à 35 % de la pollution de l'ensemble des transports en ville. L'efficacité des petits véhicules urbains a baissé de 20 % en 8 ans. Il faut massifier les flux et revoir les réglementations locales qui ont eu l'effet pervers de multiplier les petits véhicules et donc la pollution et la consommation globale d'espace.

MC Mc Kinnon, A Woodburn [94] : **The consolidation of retail deliveries: its effect on CO2 emissions**, Transport Policy, vol. 1, n° 2, 1994, pp. 125-136.

Présentation des premières analyses concernant l'impact environnemental (émissions de dioxyde de carbone) des stratégies logistiques des détaillants au Royaume-Uni. Il semblerait que les nouvelles stratégies d'approvisionnement et le développement des grandes surfaces commerciales aient favorisé la réduction des émissions de CO2 générées par les opérations de livraison. Estimation des émissions de CO2 par les véhicules de livraison : 12 magasins livrés par 24 fournisseuses, 1 - avec une organisation en tournée et utilisation de poids lourds = 1860 kg de CO2 émis, 2 - avec une organisation en trace directe et utilisation de petits véhicules = 2330 kg de CO2 émis. Sur la base des tonnes transportées, le trafic des voitures particulières pour motif d'achat génère près de 12 fois plus de CO2 que les camions qui ont effectué l'approvisionnement des surfaces de vente. La réduction des émissions de CO2 obtenue par la rationalisation des approvisionnements des magasins est très largement contrebalancée par l'explosion des émissions dues aux déplacements pour achats effectués en voiture. Les détaillants sont dans une position unique de pouvoir à la fois influencer le trafic des véhicules commerciaux qui les livrent et celui des voitures de leurs clients. Met en lumière l'importance des interrelations entre le système de distribution et les politiques de localisation des commerces pour réduire les émissions de CO2.

IVU, HaCon, Ziv [94] : **Verminderung der Luft-und Lärmbelastungen im Güterfernverkehr 2010**, Berichte 5/94/ **Réduction de l'émission des polluants et du bruit causés par le transport de marchandises pour longues distances, horizon 2010**, Rapport final de l'étude réalisée par les bureaux d'études IVU, HaCon, ZIV, pour l'Agence Fédérale Allemande de l'Environnement Agence Fédérale Allemande de l'Environnement, juillet 1994, 456 p.

Cette étude, réalisée dans le cadre de la recherche sur l'environnement du Ministère Fédéral Allemand de l'Environnement, de la Protection de la Nature et de l'Énergie, retrace l'évolution du transport urbain de marchandises en Allemagne pour la période 1990-2010, présente les émissions du transport de marchandises pour cette période et propose des mesures pour influencer l'évolution du transport urbain de marchandises et les résultats escomptés.

MV2 CONSEIL [94] : Les poids lourds du Sud-Est de l'agglomération Iyonnaise, Enquête auprès des générateurs de poids- lourds du Sud-Est, DDE du Rhône, 24 pages.

Résultats d'une enquête sur le trafic de poids lourds auprès de quatre pôles générateurs du sud-est de l'agglomération Lyonnaise. Reconstitution des flux de déplacements poids lourds suivant les caractéristiques des véhicules, les origines-destinations, les itinéraires empruntés. Analyse de la génération du trafic de poids lourds selon les établissements, le profil des générateurs et les quantités de trafic. Quelques résultats: près de la moitié du trafic entrant - sortant de la zone se dirige / provient de l'agglomération, en moyenne trois emplois génèrent un poids lourd par jour et par sens.

QUARMBY D. A., [89] : Developments in the retail market and their effect on freight distribution, Journal of transport Economics and Policy, vol. 23, n° 1, 1989, pp. 75-87.

La première partie de ce document présente la nature et les raisons des évolutions intervenues dans la distribution des biens de consommation aux commerces : chaîne de distribution de plus en plus contrôlée par les destinataires aux dépens des fournisseuses, tendance à une contractualisation des opérations de livraisons. Conséquences : accroissement de la taille des véhicules, réduction du nombre des tournées au profit de parcours en trace directe, passage d'un système composé d'un grand nombre de petits entrepôts couvrant des aires relativement restreintes à un système où les entrepôts sont moins nombreux, plus grands et couvrant des zones plus étendues, plus grande facilité d'adaptation du système de distribution face aux modifications sur le réseau routier. La deuxième partie de ce document examine d'une part les implications de ces changements dans l'utilisation du réseau routier (utilisation accrue des grands axes, re localisation des entrepôts - exemple de Sainsbury -), et d'autre part, propose une évaluation coût / bénéfice pour le système logistique d'un développement du réseau routier. Conclusion : les méthodes traditionnelles d'évaluation des bénéfices pour les véhicules commerciaux, en termes de temps gagné, d'un développement du réseau routier ont tendance à les sous-estimer puisqu'elles ne prennent pas en compte les gains de productivité issus de la restructuration des réseaux de distribution qui accompagne ces améliorations des infrastructures routières.

OCDE [80] : Gestion de la distribution des marchandises en zone urbaine, résumé de l'expérience de plusieurs pays, Groupe de Recherche Routière de l'OCDE, 97 pages.

Bilan comparatif de l'expérience de 12 pays occidentaux en matière de méthodes d'évaluation de la demande et des coûts en matière de transports routiers de marchandises en zone urbaine. L'étude recense les mesures réglementaires, les modes de gestion du trafic, les modes d'organisation logistique des villes considérées et tente d'en faire une synthèse. Constat d'un manque de données alors que le transport de fret en ville pourrait constituer 50 % des dépenses totales du transport de fret.

LEAN Introduction of lean logistics into urban multi-modal transport management ; RTD

De nouveaux concepts de logistique urbaine ont été étudiés sur 8 villes européennes. L'estimation de l'utilité montre que les stratégies gagnantes combinent information, infrastructure, et la fourniture de services porte à porte. Deux concepts sont analysés en détail : les zones de contrôle des manutentions ou l'arrêt des camions pour charger ou décharger est organisé centralement et le management logistique électronique qui permet en particulier le groupage des livraisons dans un même véhicule.

8 MONDIALISATION ET PAYS EN DEVELOPPEMENT

Hamdani S.A. [02] : Influence de la mondialisation sur les flux de transport de marchandises et la consommation d'énergie ; mémoire de DEA IFP-Inrets, 86 p. + annexes

Les conséquences de la mondialisation sur l'organisation logistique d'une entreprise de construction automobile.

Hodge, I [02] : Sustainable agriculture and environment: Globalisation and the impact of trade liberalisation (Book Review) ; american journal of agricultural economics, 84 (1): 251-252 feb 2002

Forster PW, Regan AC [01] : **Electronic integration in the air cargo industry: An information processing model of on-time performance** ; transportation journal, 40 (4): 46-61 sum 2001

This study examines electronic integration in logistics supply chains using the non-integrated U.S. international air cargo industry as a case study. We ask what impact electronic integration has on interorganizational task performance, and hypothesize about factors limiting the effectiveness of electronic integration. Surprisingly, our study does not find evidence of direct impacts of electronic integration on performance, though it does find evidence of indirect impacts of information systems use and performance. The findings suggest that the use of electronic integration as a strategy to improve operational performance across firms is limited by the nature of the interorganizational task, environmental dynamism, and the power relationships between firms in the supply chain.

Decroocq, D [2001] : **Energy savings and CO₂ emissions through the industrial processing and uses of fossil hydrocarbons**. Compte-rendus de l'académie des sciences série ii fascicule a-sciences de la terre et des planetes, 333 (12): 797-810 dec 30 2001

By the year 2020 or so, oil and gas, which contribute currently to 62% of the whole of carbon dioxide anthropogenic emissions, will go on to cover roughly half of the world demand of primary energy. Thence, the fight against the CO₂ emissions requires the implementation of preventive actions as regards processing (refining of crude oil and natural gas) and uses (combustion in boilers for energy production and engines for automotive transportation) of fossil hydrocarbons and curative actions aiming at the capture and sequestration of the given off CO₂. The appropriate technical solutions to do that are reviewed in this paper. (C) 2001 Academie des sciences / Editions scientifiques et medicales Elsevier SAS.

S. Durand [01] : **L'analyse et la modélisation spatiale des transports de marchandises par la méthode des coefficients structurels** ; in Les Cahiers scientifiques du transport n°39, pp. 87-114.

Les coefficients structurels traduisent la déformation du volume de biens échangés entre deux zones. Le modèle met en évidence que la structure spatiale du fret interrégional, expliquée par les facteurs de coût de transport et de proximité a une forte inertie sur le long terme alors que la structure économique (selon les produits) est très sensible à la croissance économique.

DB. Van Veen-Groot, P Nijkamp, J. Van Den Bergh [01] : **A Scenario Study of Globalization Impacts on International Transport and the Environment: An Application to the Dutch Paper Industry** ; Journal of Environmental Planning and Management, Volume 44, Number 1/January 1, 2001, pp. 21 - 40

Dieter Rehfeld [01] : **Global Strategies Compared: Firms, Markets and Regions** ; European Planning Studies, Volume 9, Number 1/January 1, 2001, pp. 29 - 46

Tisdell, C [01] : **Globalisation and sustainability: environmental Kuznets curve and the WTO** ; ecological economics, 39 (2): 185-196 nov 2001

Economic globalisation is seen by many as a driving force for global economic growth. Yet opinion is divided about the benefits of this process, as highlighted by the WTO meeting in Seattle in late 1999. Proponents of economic globalisation view it as a positive force for environmental improvement and as a major factor increasing the likelihood of sustainable development through its likely boost to global investment. These proponents mostly appeal to analysis based on the environmental Kuznets curve (EKC) to support their views about environmental improvement. But EKC-analysis has significant deficiencies. Furthermore, it is impossible to be confident that the process of economic globalisation will result in sustainable development, if 'weak conditions' only are satisfied. 'Strong conditions' probably need to be satisfied to achieve sustainable development, and given current global institutional arrangements, these are likely to be violated by the economic globalisation process. Global political action seems to be needed-to avert a deterioration in the global environment and to prevent unsustainability of development. This exposition demonstrates the limitations of EKC-analysis, identifies positive and negative effects of economic globalisation on pollution levels, and highlights connections between globalisation and the debate about whether strong or weak conditions are required for sustainable development. The article concludes with a short discussion of the position of WTO in relation to trade and the environment and the seemingly de facto endorsement of WTO of weak conditions for sustainable development. It suggests that WTO's relative neglect of environmental concerns is no longer politically tenable and needs to be reassessed in the light of recent developments in economic analysis. The skew of economic growth, e.g. in favour of developing countries, is shown to be extremely important from a global environmental perspective. (C) 2001

Houghton E; Portugal V [2001] : **Regime-change management under post-mass production** , international journal of production economics, 73 (2): 123-135 sep 21 2001

This paper considers the implications of optimum production planning for facilities where capacity is a tight processing constraint. In this environment, there are benefits to incorporating workload smoothing within the production planning process and this approach to production planning has been addressed in the literature. No attention, however, has been given to the transition between regimes. Stock incompatibilities arise between adjacent regime plans as a function of the active regime-change drivers and the timing of the regime change. The procedures of this paper, therefore, optimise the stock outcomes of regime change with respect to its timing. To highlight the stock effect, processing within regimes is assumed to have JIT properties and the facility is assumed to be single stage, in line with trends in the globalisation of production. The method is applied to an example where regime change is driven by the combined influences of demand shifts, product innovation, and process innovation. The example demonstrates the scope for significant cost savings from managing the regime change when capacity is tight, and illustrates the simplicity of the method. (C) 2001.

Perraton, J [2001] : **The global economy - myths and realities** ; cambridge journal of economics, 25 (5): 669-684 sep 2001

Hirst and Thompson's Globalization in Question is the key text questioning claims of economic globalisation. This review of its revised second edition examines its main claims: that contemporary levels of international integration fall short of the Gold Standard period; genuinely global companies remain exceptional; capital mobility is not shifting economic activity to developing countries wholesale; international economic activity is primarily regional rather than global; and that international economic activity is sanctioned by nation states and remains subject to their political power. This review argues that, while their evidence provides a useful corrective to extreme globalisation views, focusing on this view understates changes in the international economy.

F.M. Vanek [01] : **Growth of exports from developing countries : implications for freight trends and ecological impact**, Futures, vol. 33, issue 5, p. 393-406, june 2001.

A. Maddison [01] : **L'économie mondiale – une perspective millénaire** ; OCDE, centre de Développement, 400 p.

Cet ouvrage rassemble des données sur le développement mondial (population et économie) dans le deuxième millénaire. Il s'efforce d'expliquer comment certains pays sont devenus riches et d'autres moins afin d'évaluer dans quelle mesure la politique des pays occidentaux, en particulier la colonisation, est responsable du 'retard' du reste du monde.

Freire F, Thore S, Ferrao P [01] : **Life cycle activity analysis: logistics and environmental policies for bottled water in Portugal** ; OR SPEKTRUM 23 (1): 159-182 FEB 2001

An innovative mathematical programming decision support model Life Cycle Activity Analysis (LCAA) - is presented, integrating considerations of optimal allocations of resources and impacts upon the environment during the life cycle of products. LCAA is based on the classical formulation of activity analysis on the life cycle assessment framework. The concept of linear activities is extended to embrace mass and energy fluxes over the entire life cycle of products including their environmental impacts. Special attention is given to the presence of loops in the product chains, such as those occurring when materials/products are recovered (reused, recycled.). An application brought from the Portuguese bottled water industry is described. The model features alternative activities for production technologies and product recovery strategies and permits the joint consideration of monetary costs and environmental burdens. The results obtained under five scenarios, including distinct disposal strategies and environmental constraints, are discussed.

DL Green, JM. Decicco [01] : **Energy and Transportation Beyond 2000** ; Communication au 80^{ème} Transport Research Board (TRB), janvier 2001, Washington D.C. , 10 Pages

Trois enjeux sont essentiels sur le plan international : la dépendance vis à vis du pétrole, la pollution de l'air et le changement climatique dû à l'effet de serre. Comme solutions, il y a des progrès technologiques plus importants à réaliser, mais aussi la mise en œuvre des politiques d'investissement publics capables d'influencer non seulement la demande mais aussi la structure de l'offre de transport.

Harald Dyckhoff [00] : **The natural environment: towards an essential factor of the future** ; International Journal of Production Research Volume 38, Number 12/August 2000, pp 2583 - 2590

Since the beginning of industrialisation, the economic system has changed enormously in terms of size, quality and dynamics. In order to avoid corresponding dramatic changes in nature it is necessary to develop a circulatory economy harmoniously embedded in nature, probably based on a global information society. In particular, traditional production research must be enlarged to all phases of the product life cycle integrating recycling and disposal with the supply chain.

P Nijkamp, H Van Delft, H Geerlings, D Van Veen-Groot [00] : **Transportation between Globalization and Localization** ; Innovation: The European Journal of Social Sciences, Volume 13, Number 1/March 1, 2000

S Kubokawa, I Saito [00] : **Manufacturing management strategies for environmental protection: toward the environmental upgrading of management and manufacturing systems to cope with environmental laws** ; Production Planning and Control ; Issue: Volume 11, Number 2/March 1, 2000 Pages: 107 - 112

Recent environmental problems have been caused by business activities and a lifestyle based on mass production, mass consumption and mass disposal. These problems have also become global in scale. Increasingly, global efforts are being applied to preserve and improve the environment. NEC, a worldwide electronics manufacturer, created its own environment action plan called Eco-Action 21. This is a continuously evolving plan applied throughout the NEC group and subsidiaries. Globally, 34 NEC manufacturing sites have received ISO 14001 certification. NEC Tohoku in Japan and NEC Ireland obtained BS 7750 certification even before this. NEC improves subcontractors' environmental behaviour with our accumulated expertise and technology derived from our ISO experience and our own development. Input for this paper was not only from NEC Tohoku and the NEC group, but also from outside NEC.

B. W. Ang, F. Q. Zhang, E. P. Chew [00] : **A decomposition technique for quantifying real process performance** ; Production Planning and Control, Volume 11, Number 4/June 1, 2000, pp. 314 - 321

A decomposition technique for quantifying the impacts of changes in product mix and process performance on aggregate process-related indicators is presented. Through application of the technique, the real performance of a process can be quantified. Changes in real performance over time can be monitored to provide useful information for process evaluation and production planning. Two case studies, one related to the aggregate defective rate for an assembly line of an integrated circuit fabrication plant and the other to the aggregate inventory turnover for a tyre distribution company, are presented to illustrate the application of the technique.

A Krupnick, W Harrington [00] : **Energy, Transportation, and Environment: Policy Options for Environmental Improvement** ; ESMAP Paper No. 224, The World Bank, Washington DC

This report explores the role of energy policy in reducing the environmental consequences of transportation in developing countries. The formulation of energy policies to meet environmental objectives in the transport sector requires careful and active coordination with other policy interventions if the gains from any of these policies are to be fully realized.

Masami Kojima, Carter Brandon, and Jitendra Shah [00] : **Improving Urban Air Quality in South Asia by Reducing Emissions from Two-Stroke Engine Vehicles** The World Bank, Working Paper,

This report analyzes different technical and policy options for reducing emissions from two-stroke engines. Precisely because two-stroke engine vehicles are so numerous and popular, a policy decision to address emissions from these vehicles must take into account the socioeconomic consequences of such a decision.

Guide VDR, Jayaraman V, Srivastava R, Benton WC [00] : **Supply-chain management for recoverable manufacturing systems** ; interfaces 30 (3): 125-142 may-jun 2000

Recoverable manufacturing systems minimize the environmental impact of industry by reusing materials, reducing energy use, and reducing the need to landfill industrial products. These systems are widespread in the United States and are profitable, in addition to contributing to sustainable development. However, the management of supply-chain activities can differ greatly from management activities in traditional manufacturing supply chains. Seven complicating characteristics increase uncertainty. Managers must take actions to reduce uncertainty in the timing and quantity of returns, balance return rates with demand rates, and make material recovery more predictable. Managers must also plan for the collection of products

from end-users. The use of information systems with new production-planning and control techniques makes management of these activities more predictable.

Golob TF, Regan AC [00] : **Freight industry attitudes towards policies to reduce congestion ; transportation research part e-logistics and transportation review** 36 (1): 55-77 mar 2000

This paper presents an analysis of the perceptions held by for-hire and private trucking company logistics and operations managers about the impacts of congestion on their operations and the feasibility and effectiveness of actual and potential congestion mitigation policies. Responses to an extensive survey of nearly 1200 California-based or large national carriers are examined using confirmatory factor analysis. The method applied facilitates both the grouping of congestion relief policies into classes and the identification of characteristics of companies which lead them to favor one set of policies over others. This research comes at a time when California government leaders and transportation policy analysts are struggling with key resource allocation issues that will impact the short and long term future of goods movement in the state. To the greatest extent possible, insights of commercial vehicle operations users of the transportation network should be included in the policy analysis process. (C) 1999

Taniguchi E, Noritake M, Yamada T, Izumitani T [99] : **Optimal size and location planning of public logistics terminals ; transportation research part e-logistics and transportation review** 35 (3): 207-222 sep 1999

The concept of public logistics terminals (multi-company distribution centers) has been proposed in Japan to help alleviate traffic congestion, environment, energy and labor costs. These facilities allow more efficient logistics systems to be established and they facilitate the implementation of advanced information systems and cooperative freight systems. This paper describes a mathematical model developed for determining the optimal size and location of public logistics terminals. Queuing theory and nonlinear programming techniques are used to determine the best solution. The model explicitly takes into account traffic conditions in the network and was successfully applied to an actual road network in the Kyoto-Osaka area in Japan. (C) 1999

Ramanathan R. et Parikh, J.K.(Indira Gandhi Inst Development, India) [99] : **Transport sector in India: an analysis in the context of sustainable development ; transport policy (jan 1999), vol. 6, no. 1. p. 35-45. 20 refs., published by: elsevier science ltd issn: 0967-070x**

A brief review of the India transport sector in the past few decades is provided in this article. It is shown that the period has witnessed a gradual transformation from rail-dominated transport to road-dominated transport. Infrastructure bottlenecks such as lack of roads and railways network and aircraft are the limiting factors. Emission of local pollutants and carbon dioxide (CO₂) because of fuel consumption in transport were estimated. Future transport performance is projected using cointegrating econometric models. The models project that passenger traffic in India is likely to grow at more than 8% per year and freight traffic at more than 5% per year during the period 1990-2021. This will increase the energy consumption and CO₂ emission at equivalent rates. The effects of various policy options aimed at reducing energy consumption and CO₂ emissions were analysed using a scenario approach. The scenario analysis shows that efficiency improvements can reduce future energy consumption and CO₂ emissions by 26%. If the modal split is promoted in favour of public transport modes (rail and public road transport), about 45% reduction in energy requirements and CO₂ emissions is expected. (A)

OCDE [97] : **Les effets environnementaux de l'évolution des mouvements internationaux de fret liée à la libéralisation des échanges et aux réformes structurelles dans le secteur des transports**, OCDE, 16 p.

Le commerce intercontinental et international va augmenter très sensiblement mais les effets des engagements du cycle d'Uruguay sur la libéralisation du commerce y auront peu d'impact. La libéralisation des transports a eu des effets positifs en Amérique du Nord, par l'adoption de nouvelles technologies et la réalisation d'investissements d'infrastructure ; en Europe au contraire cette libéralisation s'est traduite par une part accrue des TRM, en particulier à cause du calendrier des réformes et de l'absence de politique d'internalisation des coûts.

P. Veltz [96] : **Mondialisation, villes et territoires – L'économie d'archipel**; PUF 262 p.

Ce livre explore les liens entre trois grands processus : la mondialisation de l'économie, la polarisation spatiale croissante au profit des zones les plus développées, des grandes métropoles en particulier et les mutations des modes d'organisation de la production. De plu en plus fluide, l'économie semble se resserrer

de plus en plus autour d'un réseau-archipel de grands pôles et reste profondément ancrée dans les territoires. L'auteur combine une étude des tendances à grande échelle de la globalisation avec une analyse détaillée des nouvelles formes de production.

J.P. Orfeuil [93] : **Éléments pour une prospective transport dans les PED** ; Inrets, 55 p. + annexes

Après avoir analysé les consommations énergétiques des transports et les parcs de voitures l'auteur extrapole les données de motorisation dans les PED jusqu'en 2020. Il en conclut que le parc automobile mondial devrait doubler en 30 ans mais celui des PED devrait rester inférieur à celui de la zone OCDE ; la croissance de la demande pétrolière devrait être beaucoup moins élevée, du fait d'un usage moindre de chaque véhicule : la situation à l'horizon 2020 semble gérable avec les instruments économiques traditionnels

Swait Joffre [91] : **Technology of production and potentiel for energy conservation in short-haul freight transportation in Brazil**, Logistics and transportation review, vol. 27, issue 2, p. 137-157, june 1991.

ANNEXE 2 CALCUL DES DISTANCES

Distances à vol d'oiseau

A partir des coordonnées X et Y d'une ville de départ et d'arrivée, notre programme calcule une distance à vol d'oiseau à partir de la formule classique de la distance euclidienne. Une table sas (posxy) contenant les coordonnées X et Y des villes françaises était disponible. Ces coordonnées étaient exprimées en coordonnées Lambert II.

Le système Lambert est un système de projection conique tangente à un parallèle, qui conserve les angles. Cette projection est largement utilisée dans les cartes topographiques, géologiques et les cartes aéronautiques. Les méridiens sont des lignes droites qui se rencontrent au pôle. Les coordonnées sont définies comme un nombre de mètres vers l'Est X et vers le Nord Y par rapport à une origine. Dans notre table, les coordonnées Lambert étaient exprimées en kilomètre avec le méridien de Paris comme méridien d'origine.

Les villes étrangères, pour lesquelles les coordonnées étaient manquantes, ont été traitées sous Excel sous forme d'un tableau indiquant les codes et les libellés en clair du pays, de la commune et de la ville proche lorsque celle-ci était renseignée. Les coordonnées manquantes ont été complétées à l'aide du fichier Mercurial "villescoordxy", d'Internet et d'Atlas géographiques. Les latitudes et les longitudes ainsi obtenues ont été converties en coordonnées Lambert en utilisant Mapinfo.

La procédure a consisté ensuite à enregistrer sous format texte le fichier Excel contenant les seuls codes pays, communes et coordonnées Lambert. A partir de ce fichier, une table SAS a été créée et mergée avec la table trajet d'origine.

Ensuite les distances à vol d'oiseau ont été calculées à partir d'un programme extrait du SES (Service Economique et Statistique).

Distances routières

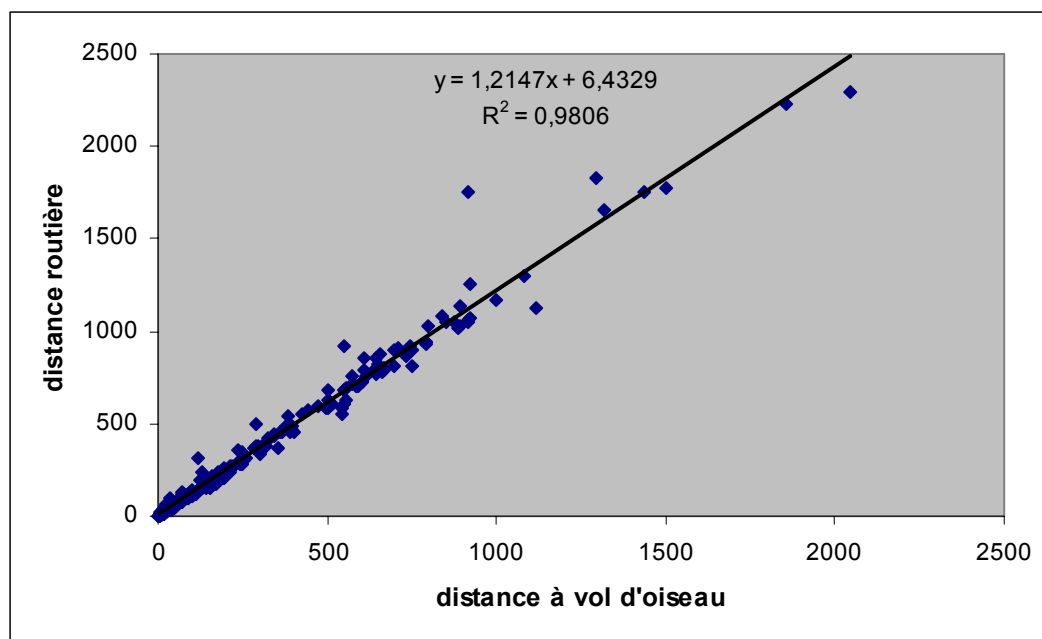


Figure 9 : Distance routière en fonction de la distance à vol d'oiseau (km)

A3 ESTIMATION DU POIDS DU CHARGEMENT ROUTIER

Pour le mode routier, il y avait 632 poids renseignés sur les 1205 trajets, ce qui représente un peu plus de la moitié. Des régressions ont été effectuées afin d'estimer le poids du chargement pour les trajets routiers lorsque celui-ci n'était pas renseigné. Des nuages de points ont d'abord été faits afin de vérifier quelles variables étaient en relation avec le poids du chargement. Les variables explicatives testées sont : le poids de l'envoi, le poids du lot, de la tournée ou de l'envoi isolé, la distance, le nombre de clients en cas de groupage.

Pour les régressions, les trajets routiers ont été divisés en plusieurs catégories :

- les trajets en compte propre,
- les trajets directs en compte d'autrui,
- les trajets multiples en compte d'autrui,
- les préacheminements routiers divisés selon les types de chaînes (maritimes, aériennes, ferroviaires...)

A l'intérieur de ces catégories d'autres divisions ont pu être effectuées. Le plus souvent, elles ont été faites au niveau du type de véhicule et des opérations de groupage. Des séparations par activité, valeur des produits ou destination ont aussi été essayées mais sans résultat. Ces divisions ont permis dans presque la totalité des cas, d'améliorer la régression. Au final, les trajets routiers ont été divisés en 9 cas différents.

Certains cas se sont avérés problématiques. Il a donc fallu se contenter d'une régression médiocre avec un coefficient de corrélation (R^2) très faible. En effet, l'objectif était d'avoir le maximum de poids renseignés afin de pouvoir, par la suite, calculer les consommations d'énergie pour un maximum d'envois. Les équations qui ont servi à estimer les poids manquants pour le mode routier se trouvent dans le tableau suivant.

Tableau 35 : Résultats des régressions effectuées pour estimer les poids de chargement non renseignés

Type de chaîne/Nb d'observations	Groupage	Type de véhicule	Equation de la droite	R ²	Pr>F*
compte propre/40			$t11bis=20,67890+0,99603*q16comp$	0,99	<0,0001
Préachemin. fer /9			$t11bis=4361,02647+0,99552*q13bis$	0,99	<0,0001
trajet direct CA /40	avec		$t11bis=5472,30096+0,79681*q13bis$	0,50	<0,0001
Trajet multiple CA/137	avec	>6,5 TCU	$t11bis=9359,55363+1,80302*q13bis+2,53305*disroute$	0,10	0,0019
trajet multiple CA/38	avec	<6,5 TCU	$t11bis=943,46464+0,84739*q13bis$	0,18	0,0048
Préachem. air /13	avec		$t11bis=548,37505+49,62034*q13bis$	0,61	0,0010
Préachem. ferry-channel/29	avec		$t11bis=2308,40931+5,71565*q13bis+303,05753*t7b$	0,50	0,0173
Préachem. mer/33	avec		$t11bis=13286+0,63316*q13bis$	0,19	0,0070

Pour les 6 derniers cas, les trajets sans groupage ont suivi, logiquement, la règle suivante : le poids du chargement est égal au poids de l'envoi, c'est à dire $t11bis=q13bis$. Pour le préacheminement fluvial, seul le poids d'une observation sur quatre était renseigné. L'équation des trajets directs avec groupage a été utilisée. Cette solution a aussi été adoptée pour les préacheminements ferry/channel avec groupage. Une vérification de l'ordre de grandeur des poids estimés a ensuite été faite. En effet, en France 25 tonnes est le poids maximal autorisé. Pour 5 observations, les poids étaient supérieurs (de 5 à 10 tonnes). Ils ont donc été limités à 25 tonnes.

A4 VERIFICATION DU POIDS DU CHARGEMENT ESTIME

Dans un premier temps, le travail a consisté à recopier dans la table 'trajets' les variables de poids qui étaient dans la table 'envois' et à construire les variables permettant de préciser les opérations de groupage et de dégroupage. On a ensuite procédé à trois séries de tests :

• Test 1 : identification des trajets pour lesquels le poids total de chargement est inférieur au poids de l'envoi.

Dans la quasi-totalité des cas il s'agissait simplement d'arrondis que l'on a corrigé en supposant que le poids de chargement correspond au poids de l'envoi. Lorsque la différence était plus importante, on a vérifié :

- la cohérence du poids de l'envoi avec les valeurs moyennes sur l'année des envois et avec la distribution des poids d'envoi,
- et celle du poids total de chargement et du poids de l'envoi avec le type des véhicules utilisés (camions < 3,5 TCU, de 3,5 à 6,5 TCU, > 6,5 TCU) afin de faire les corrections nécessaires.

• Test 2 : identification des trajets pour lesquels le poids total de chargement est égal ou supérieur à 1000 fois le poids de l'envoi.

Les cas où un rapport de 1/1000 existait entre le poids de l'envoi et le poids du chargement ont été repérés, car cela laissait supposer une erreur d'unité entre kilos et tonnes pour le poids de l'envoi. Les cas trouvés correspondaient à des cas où il y avait eu du groupage et il était donc difficile de dire s'il s'agissait d'une erreur.

• Test 3 : test sur le type de véhicules, réalisé pour les véhicules routiers afin de vérifier que le poids de chargement est inférieur à :

- 4,5 tonnes pour les véhicules routiers de 3,5 TCU ou moins
- 7,5 tonnes pour les véhicules jusqu'à 6,5 TCU
- 45 tonnes au-delà.

Dans la majorité des cas les séries de vérification effectuées comme précédemment ont montré qu'il y avait une incohérence entre le poids du chargement et les autres variables de poids ainsi qu'avec le type de véhicule utilisé. Nous avons alors créé une nouvelle variable à laquelle nous avons attribué une valeur manquante pour ces observations et laissé les valeurs du poids total de chargement pour les autres cas non litigieux.

Concernant les observations restantes étant donné que le poids du chargement était cohérent avec les autres variables, la règle a consisté à considérer que c'était le type de véhicules utilisé qui était erroné.

TABLE DES MATIERES

RÉSUMÉ	2
NOTE DE SYNTHÈSE	3
INTRODUCTION : OBJECTIFS ET METHODOLOGIE	7
1 LOGISTIQUE ET CONSOMMATION D'ENERGIE : CONSTRUCTION DES HYPOTHESES	9
1.1 Evolution de la mobilité des marchandises : une approche bibliographique	9
1.2 Enseignements des enquêtes B2K : formulation des hypothèses	14
Conclusion du chapitre : construction des hypothèses	26
2 LES CONSOMMATIONS PAR VEHICULE	27
2.1 Véhicules routiers	27
2.2 Transport fluvial	29
2.3 Transport maritime	31
2.4 Avions	32
2.5 Transport ferroviaire	33
Conclusion du chapitre : Les consommations par véhicule	35
3 PREPARATION DE LA BASE DE DONNEES	36
3.1 Les enquêtes auprès des chargeurs	36
3.2 Enrichissement de la base de données	39
3.3 Calcul des consommations d'énergie	411
Conclusion du chapitre : Préparation de la base de données	433
4 CONSOMMATIONS UNITAIRES PAR TRAJET ET PAR ENVOI	444
4.1 Consommations unitaires par mode et par trajet	444
4.2 Consommations unitaires par envoi selon la chaîne physique	466
4.3 Consommations unitaires rapportées aux distances parcourues et à vol d'oiseau	466
Conclusion du chapitre : Les consommations unitaires	477
5 INFLUENCE DES PRATIQUES LOGISTIQUES SUR LES CONSOMMATIONS D'ENERGIE: TESTS DES HYPOTHESES	488
Hypothèse 1 (concentration spatiale des entreprises)	488
Hypothèse 2 (massification des flux)	488
Hypothèse 3 (possibilités d'utilisation du rail)	511
Hypothèse 4 (polarisation des sites logistiques)	511
Hypothèse 5 (externalisation et parcours de nuit)	522
Hypothèse 6 (Sites avancés de logistique)	533
Hypothèse 7 et 8 (Intégration des activités logistiques dans l'entreprise)	533
Hypothèse 9 (Influence du JAT sur la consommation d'énergie)	533
Hypothèse 10 (Influence des TIC sur la consommation)	544

Hypothèse 11 (Influence des livraisons directes sur la consommation)	566
Hypothèse 12, 13 et 14 (Cross docking)	577
Hypothèse 15	577
Hypothèse 16 (Consommation du transport combiné rail-route)	588
Hypothèse 17 (Fréquence élevée des envois)	588
Hypothèse 18 (emballages)	598
Hypothèse 19 (certification normes environnementales)	59
Conclusion du chapitre 5 : tests des hypothèses	59
6 AMELIORATIONS A APPORTER A L'ENQUETE ECHO	600
6.1 Calcul des consommations (questionnaires trajets)	600
6.2 Autres choix logistiques à prendre en compte	622
CONCLUSION	633
ANNEXES	655
A1 BIBLIOGRAPHIE	655
1 Méthode d'analyse des consommations :	655
1.1 Tous modes	655
1.2 Route et transport routier de marchandises	666
1.3 Transport ferroviaire	677
1.4 Transport aérien	677
1.5 Transport maritime	688
2 Analyse par produit, chaînes de transport et comparaisons inter-modales	688
3 Cycle de vie du service transport	700
4 Consommations par pays : analyse de la structure et de l'évolution	711
5 Le commerce, la logistique et son évolution	744
6 Scénarios, politiques, expérimentations et mesures préconisées	800
7 Transport de marchandises en ville et distribution, localisation	855
8 Mondialisation et Pays En Développement (PED)	933
A2 CALCUL DES DISTANCES	99
A3 ESTIMATION DU POIDS DU CHARGEMENT ROUTIER	100
A4 VERIFICATION DU POIDS DU CHARGEMENT ESTIME	1001