

Rapport d'études

Démarche de construction du modèle routier de marchandises sur le territoire Baie de Seine-Ile-de-France



Page laissée blanche intentionnellement

Sommaire

Introduction.....	7
Chapitre 1 - Principes généraux.....	8
1 - Architecture générale du modèle.....	9
2 - La démarche MoNaPL.....	10
3 - Zonage.....	11
4 - Données.....	13
4.1 - Réseau.....	13
4.2 - Données socio-économiques.....	14
4.3 - Données de trafic.....	16
Chapitre 2 -Première version du modèle marchandises.....	19
1 - Génération.....	20
1.1 - La démarche MoNaPL.....	20
1.2 - L'adaptation de la démarche.....	20
2 - Distribution.....	24
2.1 - Procédure de distribution.....	24
2.2 - Calage de la distribution.....	24
2.3 - Calage de la distribution avec coefficients de correction.....	27
2.4 - Désagrégation des résultats de la distribution.....	27
3 - Modèle de véhicules.....	28
3.1 - Résumé et justification du modèle de véhicules.....	28
3.2 - Données d'entrée du modèle.....	28
3.3 - Principe de fonctionnement du modèle.....	31
3.4 - Résultats du modèle de véhicules.....	33
4 - Affectation.....	33
Chapitre 3 - Seconde version du modèle.....	36
1 - Génération	37
1.1 - Rappel des résultats précédents.....	37
1.2 - Évaluation de la part des différents facteurs.....	39
1.3 - Utilisation de ces formules de génération.....	40
2 - Distribution	40
2.1 - Rappel des résultats précédents.....	40

2.2 - Reprise de la formulation du modèle de distribution.....	40
2.3 - Désagrégation de la distribution.....	50
2.4 - Visualisation des résultats de la distribution.....	56
2.5 - Flux intra-zone.....	60
3 - Modèle de véhicules	62
4 - Affectation	63
4.1 - La méthode d'affectation.....	63
4.2 - Le réseau utilisé.....	64
4.3 - Calage du modèle sur les flux PLJA 2005.....	64
5 - Récapitulatif des évolutions apportées au modèle, par rapport à MoNaPL.....	69
Chapitre 4 - La modélisation en prospective.....	70
1 - Démarche prospective.....	71
2 - Génération.....	71
2.1 - Données de base utilisées.....	71
2.2 - Les formules utilisées pour évaluer la génération en 2025.....	83
2.3 - Résultat de la génération.....	85
2.4 - Discussion de la pertinence d'utiliser les projections d'emploi et de productivité pour prévoir l'évolution des tonnages transportés.....	87
2.5 - Schéma simplifié récapitulatif.....	89
3 - Distribution.....	90
3.1 - Distribution à la zone d'emploi.....	90
3.2 - Désagrégation de la distribution.....	94
Chapitre 5 - Analyse des résultats d'affectation.....	98
1 - Différence entre les scénarios et la situation actuelle, avant prise en compte de la génération des ports.....	99
1.1 - Généralités.....	99
1.2 - Scénario 1.....	99
1.3 - Scénario 2.....	100
1.4 - Scénario 3.....	101
1.5 - Scénario 4.....	102
2 - Différence entre les scénarios et la situation actuelle, après prise en compte de la génération des ports.....	103
3 - Enseignements locaux de la modélisation.....	105

3.1 - L'A13.....	105
3.2 - Les pénétrantes du Havre (A29, RD6015, A131, boulevard industriel).....	105
3.3 - Autres infrastructures routières du corridor Baie de Seine / Ile de France.....	106
Chapitre 6 - Enseignements méthodologiques.....	107
1 - Les apports du modèle.....	108
1.1 - La reconstitution des flux locaux.....	108
1.2 - La finesse du zonage.....	108
2 - Améliorations possibles pour le calage du modèle.....	109
2.1 - Analyser de manière plus fine les données de génération.....	109
2.2 - Prendre en compte les flux internationaux.....	109
2.3 - Utiliser la méthode du maximum de vraisemblance pour calibrer la génération.....	110
2.4 - Réévaluer la pertinence du modèle de véhicule.....	110
3 - Pistes d'améliorations du modèle de génération.....	111
3.1 - Limites de la démarche utilisée.....	111
3.2 - Approches proposées pour répondre aux limites précédentes.....	112
4 - Retour sur l'utilisation du modèle en prospective.....	115
4.1 - Volume global de transport peu satisfaisant.....	115
4.2 - Construction des scénarios.....	115
4.3 - Prise en compte du coût du carburant.....	116
Conclusion.....	118
Annexes.....	119
Annexe : Estimation de la fiabilité des données SITRAM.....	120
1 - Estimation de la fiabilité des données utilisées pour caler la génération.....	120
2 - Estimation de la fiabilité des données utilisées pour caler la distribution.....	122

Introduction

Dans le cadre de l'étude du corridor Baie-de-Seine/Ile-de-France initiée en 2006, le CETE Normandie Centre a été mandaté pour construire un outil de prévision de la demande de déplacements (voyageurs multimodal et marchandises routier) afin de prévoir l'évolution de la problématique des transports au sein de ce territoire. Depuis, le modèle routier de marchandises a fait l'objet d'un approfondissement, ce qui a permis de faire aboutir cette démarche pour les transports de marchandises.

Parallèlement à la construction de cet outil, une démarche de prospective territoriale menée sur ce même territoire en 2007-2008 a amené à définir quatre scénarios de conjoncture à l'horizon 2025 qui ont été quantifiés et territorialisés :

- grenelle ++ : une politique environnementale volontariste ;
- récession économique : la croissance des transports comme moteur de la relance ;
- Peak Oil : l'urgence écologique s'accompagne d'une mutation des comportements ;
- le pari technologique : la confiance dans l'innovation technologique pour résoudre les conflits.

Le présent rapport explicite dans un premier temps les spécifications de la première version du modèle, ainsi que les limites de cette première version.

Le rapport décrit ensuite les travaux mis en œuvre par la suite pour améliorer l'outil. Les objectifs poursuivis étaient les suivants :

- terminer la construction du modèle routier fret et le fiabiliser afin d'être en mesure de tester ces 4 scénarios de prospective ;
- tester le comportement du modèle en situation future à partir de ces scénarios, afin d'éprouver les choix de modélisation (variables explicatives et lois de comportement), et d'apporter des compléments à la quantification des scénarios pour bien différencier les contextes d'évolution des flux de marchandises ;
- comparer les résultats avec ceux des modèles classiques.

Le rapport présente ensuite un retour critique sur la démarche et la méthodologie mise en œuvre puis propose des pistes d'amélioration pour de prochains travaux de modélisation fret, notamment dans une perspective multimodale.

Chapitre 1

Principes généraux

1 - Architecture générale du modèle

Le modèle Baie de Seine Ile de France (BASIF) se divise en deux parties distinctes, à savoir un modèle voyageurs (non traité dans le présent rapport) et un modèle marchandises. L'architecture du modèle est la suivante :

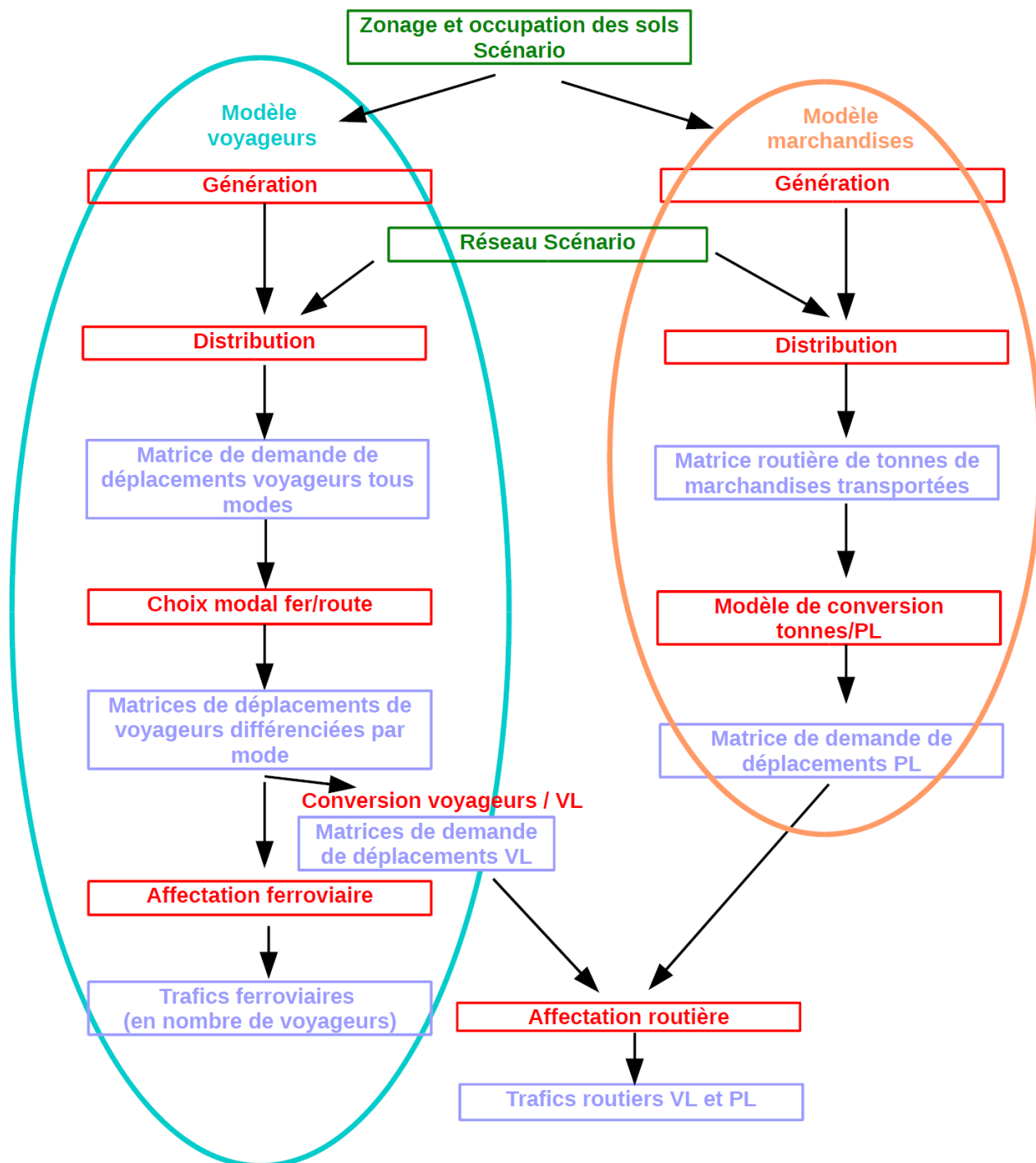


Illustration 1: Architecture du modèle BASIF

2 - La démarche MoNaPL

Le modèle marchandises développé ici est une adaptation de MoNaPL (Modèle National Poids Lourds), qui est un modèle marchandises mono modal routier développé par le Service d'Études sur les Transports, les Routes et leurs aménagements et le Centre d'Études Techniques de l'Équipement du Sud Ouest. Il s'agit d'un modèle calqué sur les modèles voyageurs à 4 étapes :

- génération de tonnes de marchandises ;
- distribution de tonnes de marchandises ;
- (la troisième étape classique des modèles à 4 étapes, le choix modal, n'est ici pas réalisée) ;
- conversion des tonnes de marchandises en véhicules ;
- affectation des véhicules.

NB : la demande de déplacements en tonnes est traduite en nombre de poids lourds (PL) via un modèle de véhicules et le résultat est redressé sur une matrice PL établie directement à partir des données de l'enquête Transport Routier de Marchandises (TRM) de 2004-2005 et d'enquêtes de circulation.

Ce choix qui consiste à ne travailler que sur le mode routier pour le modèle MoNaPL est la résultante de deux observations :

d'abord, les données de partage modal des transports de marchandises rendent possible d'envisager un outil mono modal. En effet, en France, le mode routier est depuis 30 ans le mode largement dominant pour le transport de marchandises, et jusqu'à une période récente, la part modale de la route avait plutôt tendance à augmenter. Au niveau de la Baie-de-Seine, bien que les situations soient contrastées selon les régions (le seul découpage pour lequel nous disposons de données), on observe effectivement cette prédominance du mode routier comme le montre le tableau suivant :

			route	fleuve	rail
part modale des marchandises chargées dans la région (2004-2006)	en tonnes	en Haute-Normandie	86,5%	9,5%	4,0%
		en Basse-Normandie	98,0%	0,0%	2,0%
	en tonnes-kilomètres	en Haute-Normandie	73,5%	12,7%	13,9%
		en Basse-Normandie	94,5%	0,0%	5,5%

Tableau 1 : part modale des trafics de marchandises – données SITRAM 2004-2006

Les flux alternatifs au mode routier sont quasi-inexistants pour la Basse-Normandie.

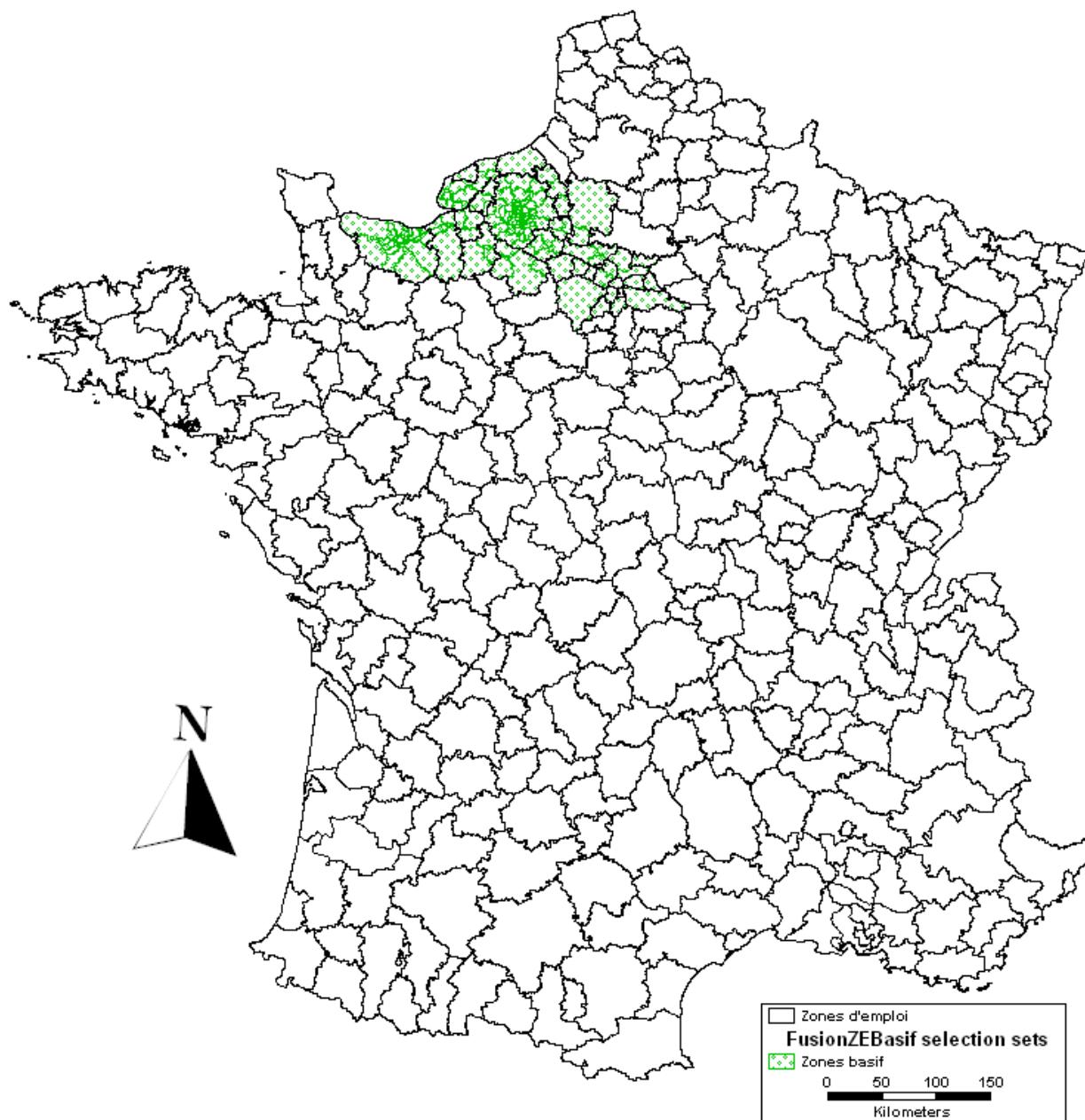
Pour la Haute-Normandie, ces modes alternatifs représentent 13,5 % des tonnages transportés, et 26,5 % des tonnes-kilomètres, ce qui n'est pas négligeable. Toutefois, dans notre secteur ces flux sont en majorité en provenance ou en destination de générateurs bien spécifiques, à savoir les ports de Rouen et du Havre. Or, ces ports feront l'objet d'approches particulières, et nous reprendrons les hypothèses de croissance des flux et des parts modales qui nous ont été fournies par les ports. Aussi, l'évolution de ces flux non routiers sera bien prise en compte dans ce travail.

Au niveau de la modélisation, cela nous permet donc de nous concentrer sur le mode routier pour les flux autres que ces flux portuaires sans compromettre la qualité des prévisions.

par ailleurs, les données disponibles pour les modes ferroviaires et fluviaux ne sont pas assez fines pour envisager la construction d'un modèle fiable (seules des données région à région existent ou alors des données département à département mais datant de 2002, ...).

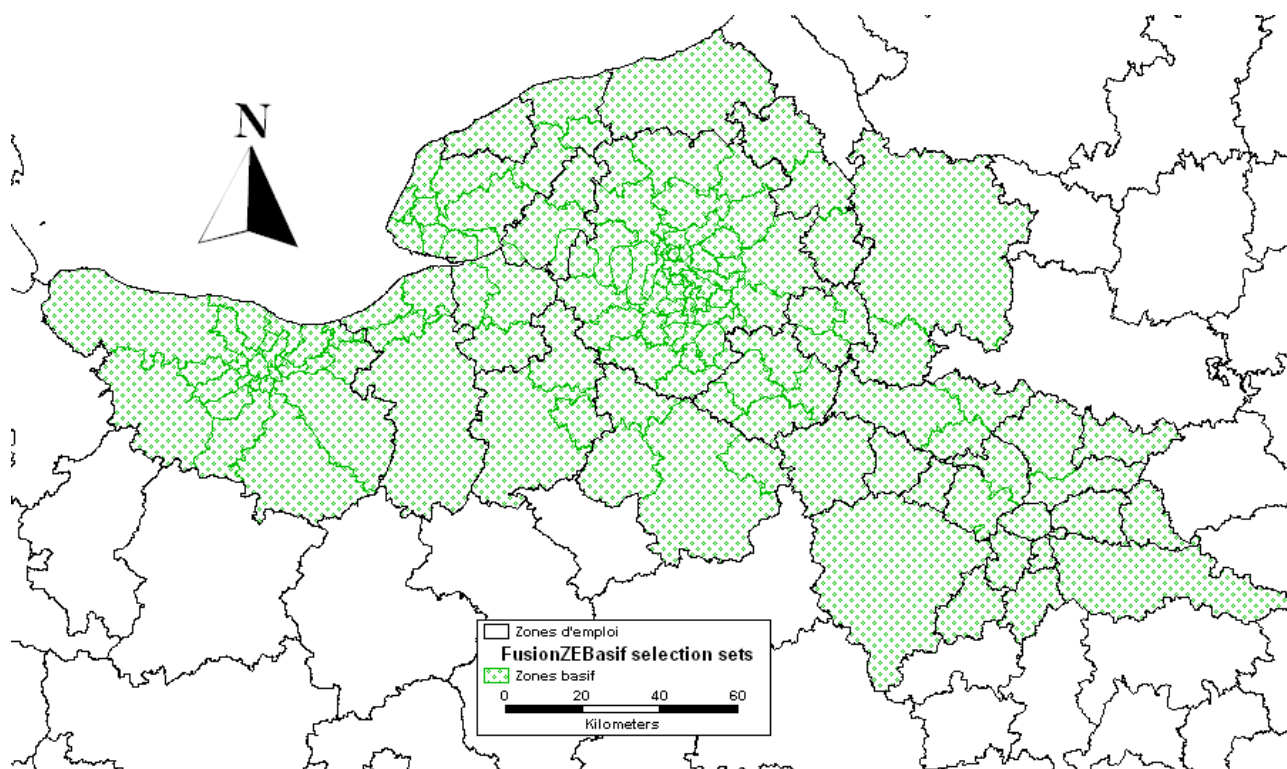
3 - Zonage

Le zonage est choisi en lien avec le réseau de transport. Un compromis doit être trouvé entre la finesse des zones, permettant d'améliorer la capacité du modèle à effectuer des prévisions diverses, et la validité statistique des résultats, qui impose de disposer d'échantillons suffisamment importants dans chaque zone. Tous les usagers d'une zone sont supposés avoir un accès homogène au réseau. Le zonage retenu est le suivant :



Carte 1 : zonage de l'étude

Le zonage est un assemblage des zones d'emplois du territoire français, et d'un deuxième découpage plus fin (cohérent avec les zones d'emplois) à l'intérieur de la zone Baie-de-Seine/Ile -de-France¹, en vert sur la carte ci-dessus. Pour des raisons de contexte insulaire, de trafics de marchandises faibles, et d'éloignement de notre zone cible, la Corse n'a pas été prise en compte.



Carte 2 : zonage de l'étude : zoom sur la zone BASIF (en vert)

Les zones BASIF peuvent correspondre aux zones d'emplois (zonage noir), notamment en région parisienne, mais sont en général plus détaillées. Elles sont particulièrement fines pour les trois grandes agglomérations normandes, Rouen, Caen et Le Havre, au cœur de notre étude. En effet, dans les agglomérations, les secteurs sont très différenciés en termes d'activité et de population, d'où un besoin de découpage accru, contrairement à la campagne où la densité est faible et les activités souvent moins diversifiées.

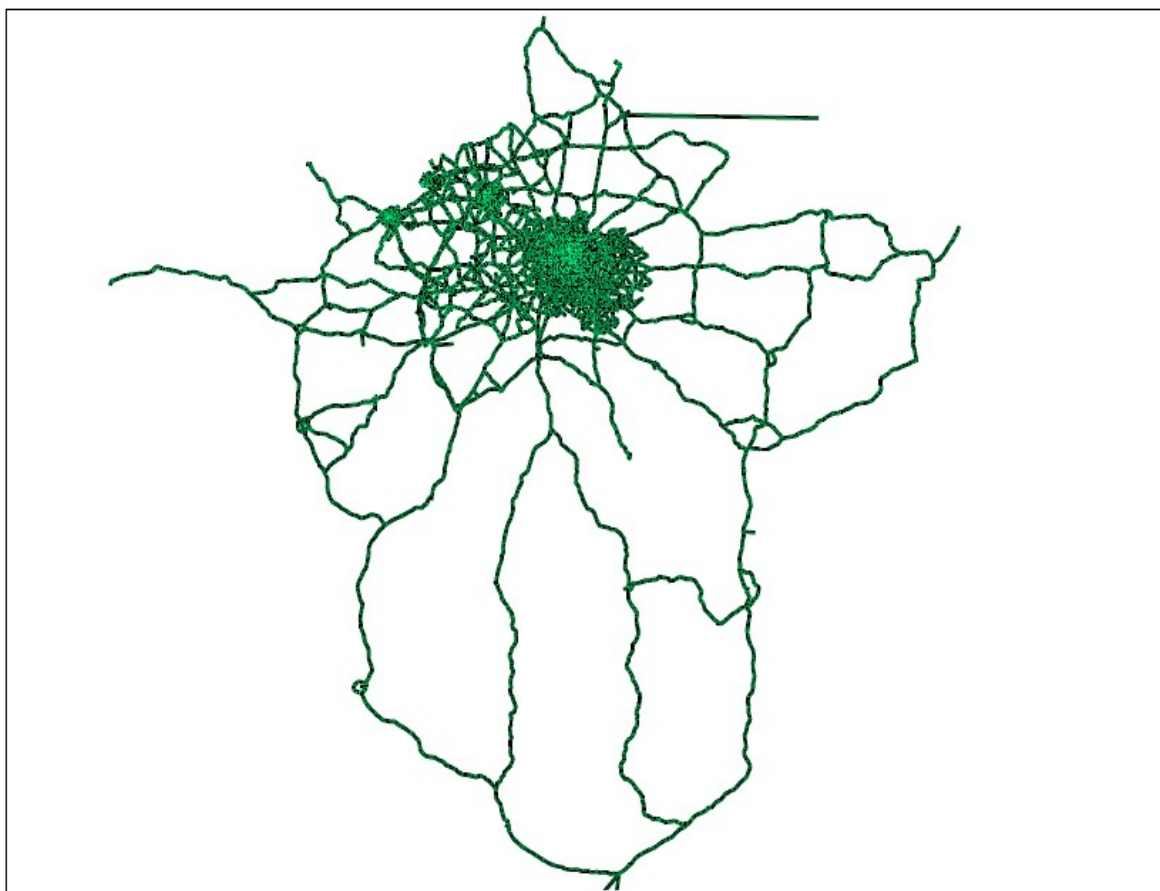
¹ Le territoire Baie-de-Seine/Ile-de-France sera appelé indifféremment Baie-de-Seine ou BASIF dans ce rapport pour en faciliter la lecture.

4 - Données

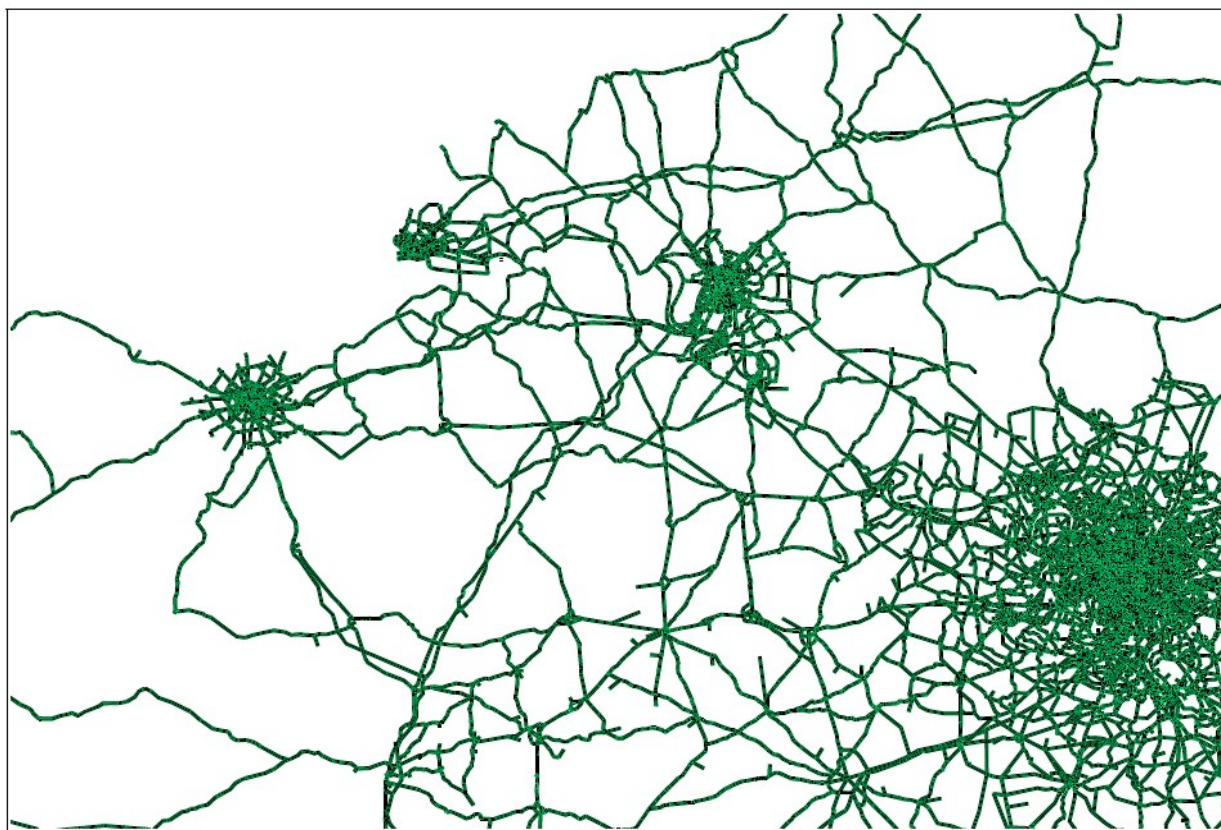
4.1 - Réseau

A l'extérieur de la Baie de Seine, le réseau routier est issu de la base Route500, dont on a sélectionné uniquement les arcs autoroutiers les plus structurants.

A l'intérieur de la Baie de Seine, en milieu interurbain le réseau du modèle est issu de la même base de données mais avec un niveau de finesse très détaillé, et dans les agglomérations de Caen, Rouen, Le Havre et en Ile de France, le réseau provient des réseaux fins des modèles urbains des CETE (CETE Normandie-Centre pour Caen, Rouen et Le Havre, et DREIF² pour l'Ile de France). Au final, le réseau routier comprend plus de 45 000 arcs. Il est représenté sur les cartes suivantes.



Carte 3: Réseau routier



Carte 4: Réseau routier, zoom sur le territoire BASIF

A chaque arc on associe un niveau de service par l'intermédiaire du « type d'arc » (auquel correspond une capacité, une vitesse à vide différenciée véhicules légers (VL) / poids lourds (PL), une courbe débit-vitesse...)

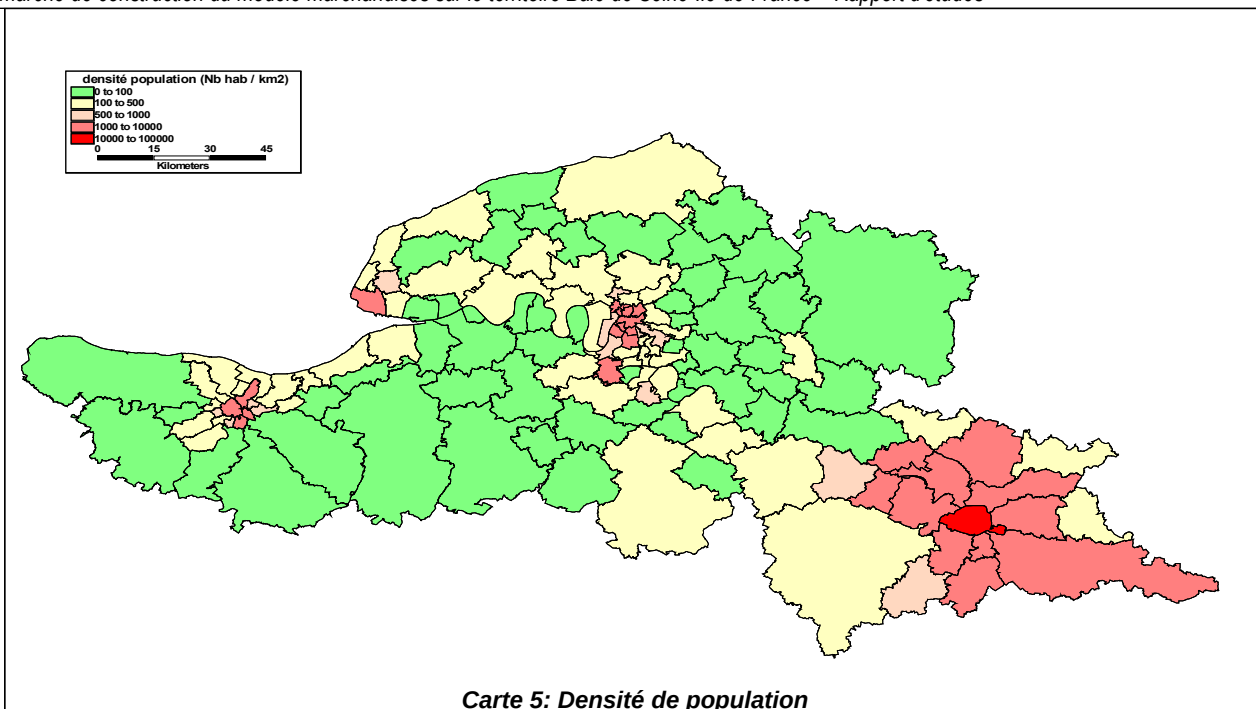
4.2 - Données socio-économiques

Les données socio-économiques font la synthèse de diverses sources de données. Elles seront principalement utilisées pour calculer la génération des déplacements.

4.2.1 - Population et population active

Les données suivantes ont été collectées (au lieu de résidence) :

- population par classe d'âge (Recensement général de la population : RGP 1999 et 2004-2008) ;
- population active ayant un emploi, par type d'emploi (agriculteur, cadre, professions libérales, ouvrier, employé et professions intermédiaires) (RGP 1999 et 2004-2008) ;
- population scolaire au lieu de résidence, utilisé comme estimateur de la population scolaire au lieu d'études (RGP 1999).



4.2.2 - Emplois

Les données suivantes ont été collectées (au lieu d'emploi) :

- emplois au lieu de travail par type d'emploi (RGP 99) - même catégories que pour la population active ;
- emplois par secteur d'activité (selon les codes NAF³ 16 pour les voyageurs et selon les codes NES⁴ 36 pour les marchandises – RGP99, UNEDIC⁵ 2005 et CLAP⁶ 2006) ;
- emplois dans les petits et moyens commerces, dans les très grands commerces (SIRENE 2001) ;
- emplois dans la restauration (SIRENE⁷ 2001) ;
- emplois dans l'administration et les services aux particuliers (SIRENE 2001) ;
- emplois de santé, estimés à l'aide de l'indicateur « Santé, éducation, action sociale » donné par le RGP 99 ;
- emplois dans le secteur du loisir en distinguant l'hébergement des activités culturelles et associations (UNEDIC 2004).

3 Nomenclature d'activités française

4 Nomenclature économique de synthèse

5 Union nationale interprofessionnelle pour l'emploi dans l'industrie et le commerce

6 Connaissance Locale de l'Appareil Productif, dispositif de l'INSEE

7 Système informatisé du répertoire national des entreprises et des établissements

4.3 - Données de trafic

4.3.1 -Exploitation des données SITRAM

Les données SITRAM permettent de connaître les déplacements de marchandises en tonnes. On utilise plus particulièrement un sous-ensemble des données SITRAM, soit les résultats de l'enquête TRM. Les immatriculations des entreprises de transports sont tirées au sort, et les entreprises doivent indiquer tous les déplacements (principalement l'origine et la destination, la nature des marchandises, le kilométrage et le tonnage) effectués pendant un certain laps de temps. Par cette méthode de sondage, on peut déduire les transports entre deux zones, à condition que le nombre d'observations soit suffisant (au minimum 10 observations).

A ce stade, il paraît utile de rappeler au lecteur la typologie des classes NST⁸, qui sera citée dans tout ce rapport.

Chapitre	Libellé du chapitre	part des tonnes transportées	part des tonnes-kilomètres
0	Produits agricoles et animaux vivants	11%	14%
1	Denrées alimentaires et fourrages	10%	15%
2	Combustibles minéraux et solides	0%	0%
3	Produits pétroliers	4%	4%
4	Minerais et déchets pour la métallurgie	2%	1%
5	Produits métallurgiques	1%	2%
6	Minéraux bruts et manufacturés et matériaux de construction	46%	19%
7	Engrais	2%	2%
8	Produits chimiques	2%	4%
9	Machines, véhicules, objets manufacturés et transactions spéciales	22%	39%

Tableau 2 : classes NST (SITRAM), et proportion dans le trafic (chiffre 2005 France entière)

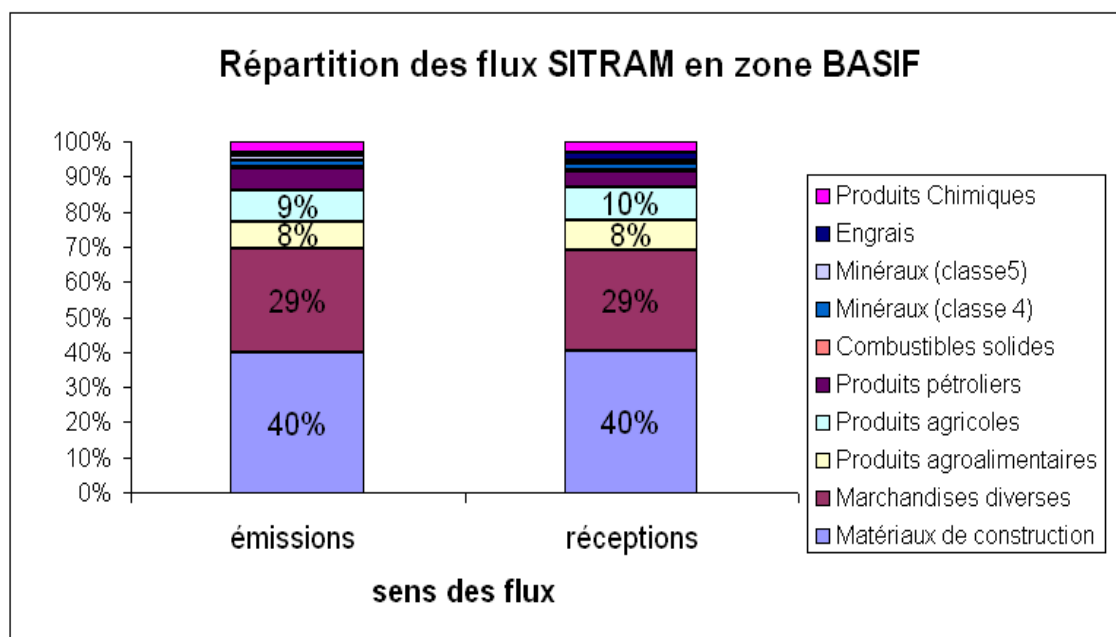
8 Nomenclature statistique des transports

Les proportions dans le trafic sont rappelées à titre indicatif, et sont stables depuis quelques années.

Des sous-classes sont également disponibles (19 groupes, 52 sections, et 176 positions), mais le nombre d'observations n'est alors en général pas suffisant. Dans ce modèle, on utilise donc exclusivement les 10 classes NST, les classes NST les plus faibles ayant pu faire l'objet d'un traitement simplifié.

Au sein de ces classes NST, 4 classes sont prépondérantes, en France, comme dans la région Haute-Normandie : il s'agit des produits agricoles (NST 0), des produits agroalimentaires (NST 1), des produits de construction (NST6) et des marchandises diverses (principalement des produits manufacturés) (NST9).

La répartition des NST au niveau national est similaire, avec toutefois une moins grande prépondérance de la classe 9 (marchandises diverses).



Graphique 1 : Répartition des flux selon les NST pour les zones du territoire BASIF – source : données SITRAM 2004-2005

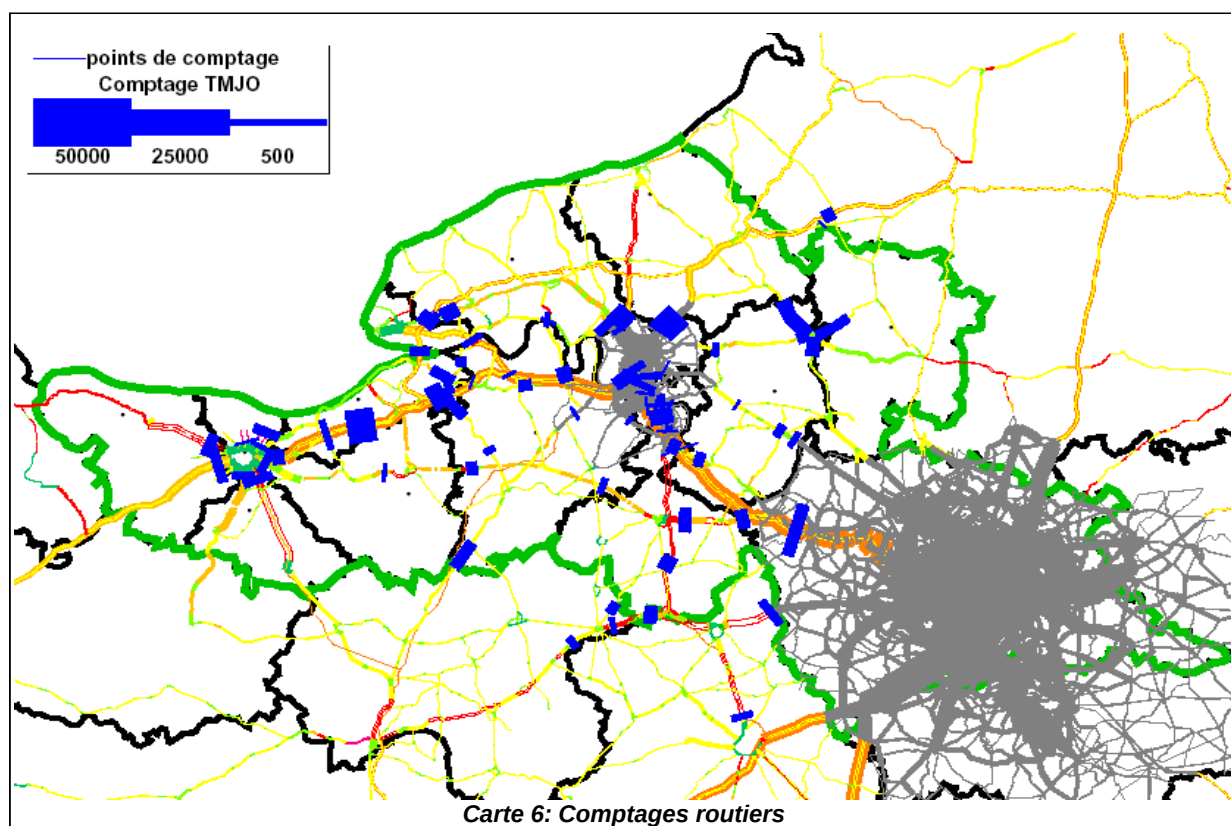
Les données SITRAM vont nous permettre :

- de caler le modèle de génération, qui pour chaque zone, va calculer les tonnages émis et reçus par chaque zone
- de caler le modèle de distribution, qui va calculer le tonnage échangé entre deux zones.

4.3.2 -Comptages routiers

Le modèle vise en premier lieu à reproduire les comptages observés en situation actuelle.

Les comptages routiers disponibles sont issus de plusieurs bases de données (DDE, Enquêtes O/D, SIRNET...)



Chapitre 2

Première version du modèle marchandises

1 - Génération

1.1 - La démarche MoNaPL

Pour le modèle marchandises, les deux modèles pré-existant, MODEV⁹ et MoNaPL, ont été adaptés en recalculant néanmoins de nombreux paramètres. Le but est de se servir de ces modèles pour évaluer les flux de PL futurs dans la zone BASIF.

La démarche consiste, pour chaque NST, à générer des flux à partir du nombre d'emplois dans l'agriculture, l'industrie, la construction, et le transport (classes NES A0 à H0) et de la population de chaque zone. Ces catégories d'emploi ont été retenues car elles génèrent a priori de grandes quantités de marchandises. Les paramètres qui s'avèrent non significatifs sont éliminés. Par exemple, les émissions de produits de construction dépendent du nombre de salariés dans la construction (branche H0 de la NES 36), mais pas du nombre de salariés dans l'industrie automobile.

On obtient donc les formules suivantes, pour chaque zone i , classe de marchandise x , et type d'emplois industriel k

$$AttractionNSTx(i) = \sum_k \alpha_k(x) \times Emplois_k(i) + \beta(x) \times Population(i)$$

$$EmissionNSTx(i) = \sum_k \delta_k(x) \times Emplois_k(i) + \chi(x) \times Population(i)$$

Les coefficients de génération sont souvent nuls. Par exemple, la population joue plus souvent en attraction qu'en émission (si le modèle était parfait, la population devrait théoriquement intervenir seulement en attraction).

1.2 - L'adaptation de la démarche

Les variables explicatives de la génération déterminés pour MODEV ou MoNaPL n'ont pas été repris tels quels.

En effet, l'influence du secteur de la logistique sur les émissions et les attractions était ignoré. Or, pour de nombreuses NST et en particulier pour la NST 9, les produits sont rarement envoyés directement du producteur au distributeur final. Ils transitent le plus souvent par des centres logistiques. Autre exemple, les envois et les réceptions de NST2 (combustible solide) dépendaient du nombre d'emplois de la catégorie G1 (emplois dans le raffinage, le combustible nucléaire, l'extraction de minerais et de charbon et la cokéfaction). Or, on n'extrait plus de charbon en France, et la cokéfaction représente très peu d'emplois. Le paramètre G1, et donc les émissions et les attractions de charbon prévues par le modèle, va donc dépendre du positionnement des raffineries et des installations d'AREVA. A contrario, les envois d'hydrocarbures ne dépendaient en rien des emplois dans les raffineries et les dépôts.

Autrement dit, les résultats peuvent être acceptables statistiquement, mais s'ils sont basés sur des coïncidences (certaines zones peuvent concentrer des zones industrielles de tout type) pas forcément durables dans le temps, ils ne peuvent fournir des indications sur l'évolution à long terme des émissions.

Ainsi, de nouvelles variables explicatives pour les émissions et les attractions ont été recherchées, et les paramètres de génération ont été calés afin d'améliorer la qualité de l'ajustement.

Méthodologie employée

1. Autant que possible, nous avons cherché à prendre en compte des paramètres explicables concrètement, et non seulement fiables statistiquement (exemple : le modèle MODEV explique les flux de charbon par la colonne G1 soit principalement les emplois dans les raffineries et l'industrie nucléaire).
2. D'autre part, nous avons travaillé à l'échelle de la zone d'emploi, un territoire plus fin et plus homogène (en général, il y a un centre de population et d'emploi, au centre de la zone d'emploi) que le département.

9 MODEV est le modèle de trafic du CGDD

3. Nous avons identifié les variables explicatives des flux, notamment grâce au travail de K+P (bureau d'étude Kessel&Partner ayant participé à la construction de MODEV), et ajusté les coefficients par des régressions linéaires multiples, en vérifiant que les variables choisies étaient fiables statistiquement (test de Student, ...).

Remarque : pour ne pas fausser le calcul des paramètres de génération nous n'avons pas tenu compte des zones particulières suivantes:

- Paris et l'ouest de la petite couronne (zone d'emploi de Nanterre, Versailles et Boulogne Bilancourt) à cause de la concentration en sièges sociaux et activité de support (des emplois, mais pas de flux) ;
- grands ports (Rouen, Le Havre, Dunkerque, Bordeaux, Marseille, Fos, Nantes, Saint Nazaire) ;
- Corse (beaucoup de petites zones d'emploi, contexte insulaire).

Ces zones devront faire l'objet d'une approche spécifique par la suite, ainsi les grands ports sont traités spécifiquement dans la seconde version du modèle (voir chapitre 3).

Choix particuliers

- Du fait de l'organisation logistique (même entreprise qui gère la production et la consommation, entrepôts près des utilisateurs finaux, déchets ...), les paramètres d'emploi chez les utilisateurs finaux vont souvent être influents statistiquement pour l'émission, alors qu'a priori, ils ne devraient agir qu'en attraction. On peut citer le bâtiment qui émet des matériaux de construction.
- On a tenu compte des emplois dans la logistique (K07) : on peut faire le pari en effet que les zones logistiques actuelles resteront des attracteurs et des émetteurs de fret, vus les investissements déjà réalisés, et la difficulté de trouver des grandes surfaces pour les zones logistiques. De nombreuses grandes entreprises disposent de seulement quelques entrepôts (voir un seul) pour toute la France, entrepôts dont la localisation ne dépend donc pas directement du positionnement des grandes zones de production et de consommation.
- Par contre, si prendre en compte les emplois dans le transport de fret fonctionne bien statistiquement, cela ne nous a pas semblé pertinent, car ces emplois n'induisent pas un besoin de transport, mais y répondent, et dans le futur leur localisation suivra les besoins en transport. La localisation présente de ces emplois n'a pas donc de valeur prospective, contrairement à celle des zones logistiques.

Résultats

On obtient le tableau des coefficients de génération suivant :

classe NST		0		1		3		4		5		6		8		9	
Emissions/Attraction		Em	Attr	Em	Attr	Em	Attr	Em	Attr	Em	Attr	Em	Attr	Em	Attr	Em	Attr
Facteur de génération	unité																
facteurs zone																	
population	habitant		0,889		0,498	0,876	0,839						3,172				2,378
surface	km²						97,5										
emplois agricoles	UTA 2000	64,68	36,37	30,58	32,76												
emplois salariés	Nes 114																
emplois industrie agro-alimentaire	B0	233,7	192,9	300,8	249,1					233,7	192,9						
industrie des biens de consommation	C													27,98	269,3	155,7	
industrie automobile	D							7,959	13,12		7,425			6,052	203	197,4	
industrie des biens d'équipement	E													9,459	96,12	69,18	
industrie chimique	F4					56,54	26,07							51,88	23,88		
industrie des biens intermédiaires	F															87,32	57,09
raffinerie	G15					1773								583,9			
construction	H0											387,3	326,6				
manutention, entreposage	K07									30,89	11,04			72,71	53,13	442,5	321,5
industrie d'extraction	F11-F12-F14									37,89		3478	2553				
metallurgie	F5							32,32	37,83		22,15						
construction ferroviaire	E12							82,12	162		59,91						
industries des équipements	E2							52,7	41,72		14,41						
R2		0,37	0,41	0,62	0,66	0,56	0,74	0,49	0,47	0,54	0,71	0,78	0,78	0,59	0,65	0,89	0,92

Tableau 3 : Coefficients de génération

Pour deux catégories (NST 2 et 7), les résultats ne sont pas indiqués, par manque de résultats probants (voir remarques particulières).

Remarques générales

- L'attraction, qui dépend souvent en partie de la population de la zone, est plus fiable que l'émission. Utiliser un rapport fixe tonnage généré de chaque type NST / nombre d'emploi n'est en effet pas particulièrement précis.
- Le R^2 obtenu est presque systématiquement supérieur à 0.5, sauf pour les deux classes NST, où les résultats obtenus ne sont pas satisfaisants.
- Les résultats sont le plus souvent meilleurs que ceux de K&P, mais c'est en partie causé par le fait que de nombreuses zones atypiques n'ont pas été prises en compte.
- On peut s'interroger sur la validité des données SITRAM à la zone d'emploi en génération, vus les fluctuations très importantes d'une année sur l'autre.
- Il est logiquement difficile d'expliquer avec cette méthode les émissions de matières premières solides de bases (charbon, minerai...) qui ne sont plus sauf exception extraites en France.

Remarques particulières

NST 2 (combustibles minéraux et solides, principalement le charbon) :

Nous n'avons pas réussi à obtenir un R^2 satisfaisant. De plus la démarche générale n'a pas de sens en ce qui concerne ce type de marchandises. D'une part les flux de charbon ne peuvent pas être décrits par des paramètres socio-économiques (les gros consommateurs de charbon sont les centrales électriques thermiques fonctionnant au charbon, et nous n'avons pas d'information sur leur positionnement en utilisant les emplois), d'autre part, l'évolution des flux de charbon sera assez indépendante de l'évolution du territoire, mais dépendra a priori surtout de la politique d'EDF, et celle des ports maritimes. Les flux en cause étant assez marginaux, nous avons choisi de ne pas chercher à les modéliser.

NST 3 (Produits pétroliers) :

Situation réelle :

Il s'agit en premier lieu de transport du port vers les raffineries et les dépôts, en pipeline (à défaut en ferroviaire), puis une distribution fine en camion. Les particuliers sont les plus gros consommateurs (en majorité des carburants automobiles, et le fioul), l'industrie ne représentant que 10 % environ de la consommation. La consommation varie selon type d'habitat, et d'environnement (ville/milieu rural), également parfois avec la proximité de la frontière (cas du département du Nord)

Modélisation :

Les émissions dépendent de la position des raffineries (emplois G15) et des dépôts (inconnus). Vu que les dépôts sont en général proches des zones peuplées, on a pris en compte la population. Cela améliore le R^2 , mais ce n'est pas très rigoureux...

Les attractions dépendent de la population et de la densité de population, on a donc pris en facteur de la régression linéaire la population et la surface des zones.

L'industrie chimique joue (faiblement), en attraction et en émission

NST 6 (minéraux bruts et matériaux de construction) :

Situation réelle :

Il s'agit de transports de courte distance, de la carrière à l'entreprise de BTP, pas forcément directs

Modélisation :

Les émissions dépendent des emplois dans l'industrie d'extraction et le bâtiment.

Les attractions dépendent de la population, et des emplois dans l'industrie d'extraction et le bâtiment

NST 7 (engrais) :

A la zone d'emplois, les résultats ne sont pas satisfaisants. Les flux en cause sont faibles, et la validité des résultats de SITRAM n'est pas forcément assurés, vu le faible nombre d'observation. Nous avons choisi de ne pas chercher à modéliser ces flux.

2 - Distribution

2.1 - Procédure de distribution

Le modèle utilisé pour la distribution est un modèle gravitaire. La fonction de résistance à la distance choisie est une puissance inverse. Après étude, il s'est avéré que la puissance inverse donnait de meilleurs résultats qu'une fonction exponentielle, pour l'étape de distribution.

Lors de la procédure de distribution, le flux F_{ij} entre deux zones i et j est calculé par la formule :

$$F(NST_k)_{ij} = E_i \times A_j \times \text{distance}^{(-\alpha_k)}$$

Avec la contrainte, pour tout i et j :

$$\sum_i F_{ij} = E_i \quad \text{et} \quad \sum_j F_{ij} = A_j$$

Où :

E_i = émission de la zone i

A_j = attraction de la zone j

α_k = coefficient de résistance à la distance, pour la NSTk

Comme on le verra plus bas, on rajoutera à la formule ci-dessus des facteurs de correction, pour caler la distribution.

2.2 - Calage de la distribution

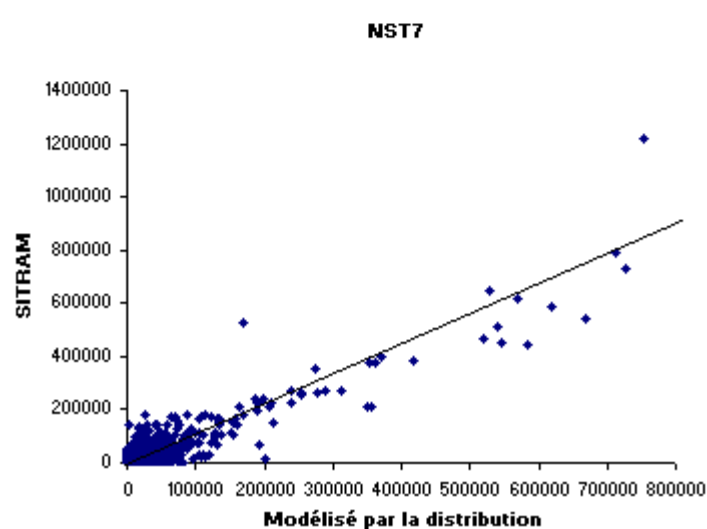
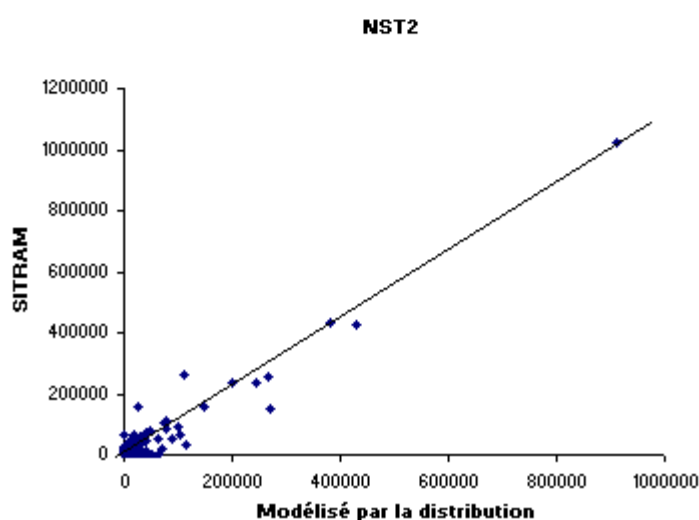
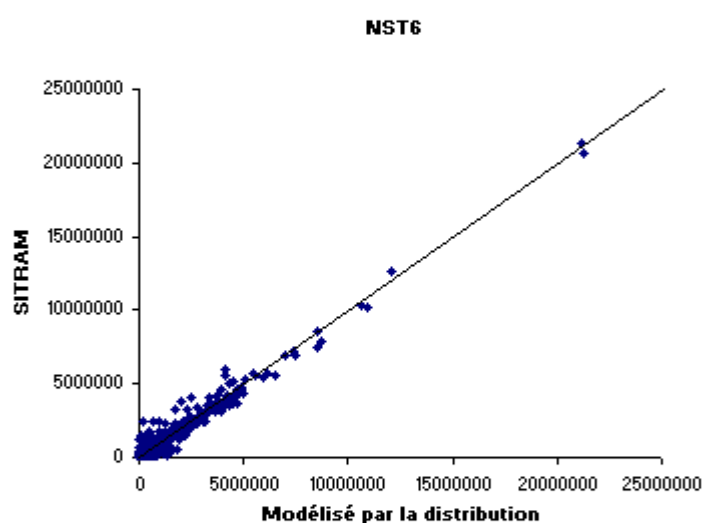
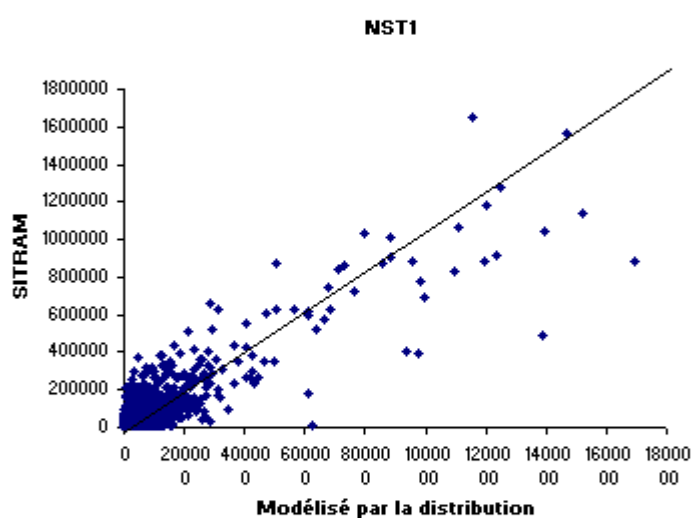
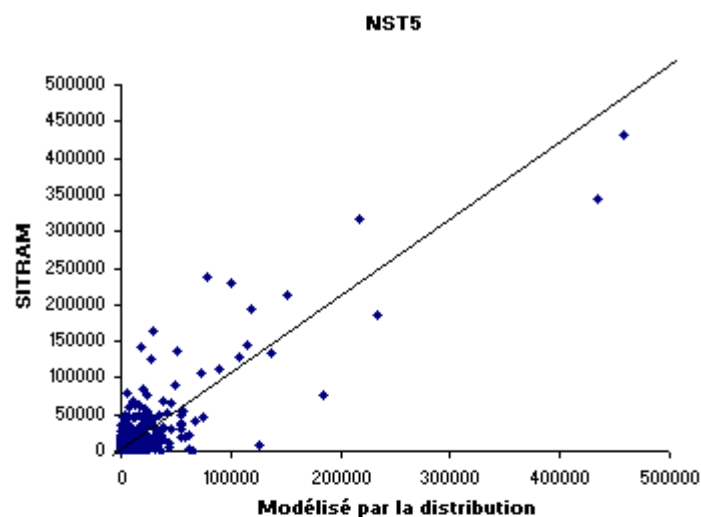
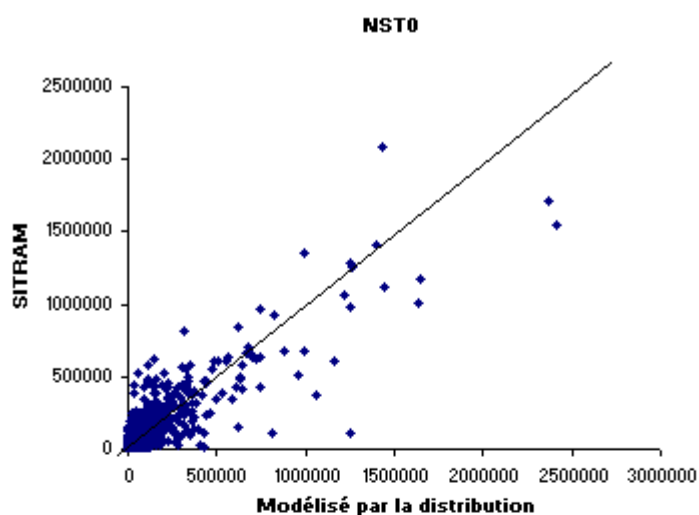
Il reste à déterminer ces coefficients α_k . Pour cela, on évalue, à l'aide du logiciel TransCAD, quelle valeur de α , pour chaque NST, minimise la différence entre la matrice distribuée par la modélisation (à partir des attractions et des émissions de chaque zone), et la matrice SITRAM « réelle » (pour les petites liaisons, le faible nombre d'observations fait que cette matrice n'est pas fiable).

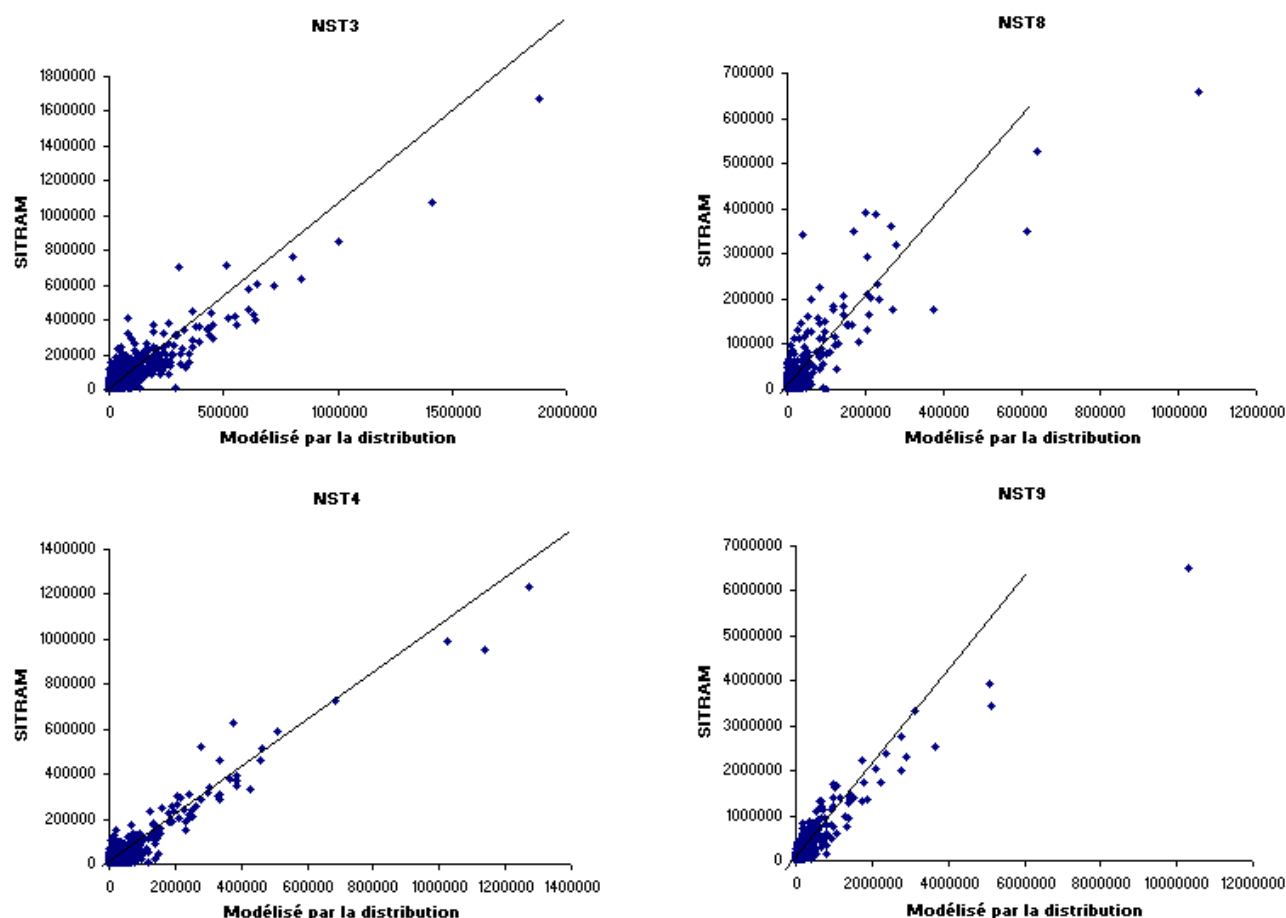
Les coefficients trouvés sont les suivants.

classe NST	paramètres alpha
NST0	2,092
NST1	1,942
NST2	2,454
NST3	3,158
NST4	2,577
NST5	1,590
NST6	2,977
NST7	2,540
NST8	1,607
NST9	1,736

Tableau 4 : Valeurs des paramètres alpha par NST

Dans les graphiques suivants, les points représentent chacun une relation zone à zone, soit 26000 au total. Seules les relations ayant un tonnage total supérieur à 3500 tonnes ont été représentées. On compare le résultat de la distribution, hors facteur de redressement, avec le résultat donné par SITRAM.





Graphique 2 : Comparaison entre le modèle de distribution et les données SITRAM

La fiabilité de l'étape de distribution varie grandement selon les NST. Elle est en général globalement bonne, sauf pour les produits agricoles et agro-alimentaires, et la NST5.

Il n'en reste pas moins, que, sans utiliser de coefficients de correction, l'erreur moyenne pour un point est encore importante. L'étape de distribution permet de répartir globalement les flux, mais pas de prévoir un bon résultat entre deux zones données. C'est pourquoi il paraît indispensable d'utiliser des coefficients de correction.

classe NST	NST0	NST1	NST2	NST3	NST4	NST5	NST6	NST7	NST8	NST9
ratio erreur moyenne	73%	73%	59%	61%	65%	108%	39%	75%	93%	59%

Tableau 5 : Ratios d'erreur moyenne par NST sans coefficients de correction

2.3 - Calage de la distribution avec coefficients de correction

Le processus de distribution ne permet pas de retrouver les flux réels. Ceci est relativement explicable : les paramètres pris en compte, à savoir, le type de marchandise (la classe NST) et la distance, ne permettent pas d'expliquer totalement les flux de fret. C'est notamment le cas à cause de la diversité (et donc la non-interchangeabilité) des produits regroupés au sein d'une même NST. Le modèle gravitaire va ainsi affecter les produits agricoles d'une région émettrice à une région réceptrice, en ce qui concerne la NST0. Or, en réalité, la première zone produit peut-être des betteraves, alors que la seconde est importatrice de céréales. Même si le tissu industriel s'est en général développé près des lieux de production des matières premières utilisés (mais les décisions d'implantation des industries sont loin d'être explicables seulement par des considérations de ce genre), de tels phénomènes expliquent les erreurs.

Nous avons donc choisi d'utiliser des coefficients de redressement zone à zone, pour tenir compte de ces phénomènes non-modélisables, et caler notre résultat de distribution sur la réalité décrite par SITRAM. Nous avons cependant choisi de limiter ces coefficients à un facteur 10 (K est donc borné entre 0,1 et 10).

Le flux entre la zone i et j vaut alors

$$F_{NSTx}(i, j) = E_i \times A_j \times \text{distance}^{(-\alpha_k)} \times K_{i,j}$$

Avec ces facteurs K, l'erreur a pratiquement disparu. Le tableau suivant permet de vérifier le fonctionnement de cette méthode sur les 4 principales classes. Les résultats sont similaires pour les autres classes.

classe NST	ratio erreur
NST0	10%
NST1	9%
NST6	4%
NST9	3%

Tableau 6 : Ratios d'erreur moyenne par NST avec coefficients de correction

2.4 - Désagrégation des résultats de la distribution

Pour l'instant, on a travaillé sur le zonage des zones d'emploi françaises, pour pouvoir caler nos résultats sur les données SITRAM. Pour bénéficier de résultats plus fins, on désagrège les résultats sur le zonage Basif. Pour cela, on attribue les flux aux différentes sous-zones d'une zone d'emploi, proportionnellement à leur caractéristiques socio-économiques. On obtient donc des paramètres de désagrégation (noté ici ε) pour chaque zone, qui diffèrent pour chaque NST.

On reprend pour cela les paramètres de génération. Ainsi, pour la sous-zone j_n de la zone j, le paramètre de désagrégation pour la NSTx vaudra :

$$\varepsilon_{NSTx}(j_n) = \frac{(\sum_k \alpha_k(x) \times \text{Emplois}_k(j_n) + \beta(x) \times \text{Population}(j_n))}{(\sum_k \alpha_k(x) \times \text{Emplois}_k(j) + \beta(x) \times \text{Population}(j))}$$

Le flux F , pour la NST x , entre les sous-zones j_n et i_m vaudra alors :

$$F_{NSTx}(j_n, i_m) = \varepsilon_{NSTx}(j_n) \times \varepsilon_{NSTx}(i_m) \times F_{NSTx}(j, i)$$

Cette désagrégation ne peut être validée de façon générale, car les flux en cause, sauf exception, ne sont pas assez importants pour être bien décrits par SITRAM. On peut toutefois penser que la méthode est a priori assez fiable : les zones d'emploi peuvent en général être divisées grossièrement en une agglomération centrale qui concentre les emplois et la population et une couronne péri-urbaine, où se situe (par exemple) l'activité agricole. La méthode va permettre d'affecter en priorité l'émission des produits industriels à la première et des produits agricoles à la seconde. Pour les zones d'emploi poly-centriques, le risque d'erreur est peut-être plus important. Les conséquences sont toutefois limitées : au pire, on déplace les flux de quelques dizaines de kilomètres.

3 - Modèle de véhicules

A partir du modèle de véhicules développé par le CETE du SO sur Excel (modèle initialement construit pour la DRE Alsace par K+P), une macro TransCAD a été développée, pour pouvoir traiter rapidement et de façon fiable des calculs sur un grand nombre de zones. A part le logiciel sur lequel ce modèle de véhicules est développé, nous précisons qu'aucune modification n'y a été apportée.

3.1 - Résumé et justification du modèle de véhicules

L'étape de distribution permet de déterminer des flux en tonnes, qu'il reste à traduire en PL. A partir des tonnages de flux de marchandises obtenus pour chaque OD, le modèle de véhicules consiste à évaluer, pour chaque transport, le nombre de camions générés, en fonction des caractéristiques du transport (classe de distance, type de marchandise), du déséquilibre des échanges entre chaque zone, et de données statistiques fines (pour chaque catégorie de transport, le chargement moyen, la répartition entre les silhouettes de camions, facteurs de retour à vide). Cette étape du modèle marchandise va donc tenir compte du fait que le parc de PL n'est pas homogène (on trouve des petits camions de deux essieux, jusqu'aux semi-remorques de 5 essieux), et du fait que les camions sont, en moyenne, plus ou moins remplis selon la distance (plus la distance est grande, plus on aura tendance à utiliser un grand PL) et le type de marchandise transportée (un camion transportant des marchandises pondéreuses, telles des liquides sera plus chargé qu'un camion transportant des produits manufacturés). Le modèle permet aussi d'estimer les transports à vide : ils dépendent également du type de marchandises transportées, et de la distance (il est plus intéressant de faire un détour pour chercher du « fret retour », sur une longue distance). Les paramètres de calage du modèle ont été calculés grâce à la base de données du ministère sur les transports routiers (enquête TRM principalement).

3.2 - Données d'entrée du modèle

Données d'entrée

- 10 matrices O/D des tonnes transportées par type de marchandise (NST)
- 1 matrice O/D des distances entre zones

Paramètres d'entrée

On distingue 5 classes de distance.

Classe de distance	Seuil bas (km)	Seuil haut (km)
1	0	50
2	50	100
3	100	250
4	250	500
5	500	999999

Tableau 7 : Classes de distance du modèle de véhicules

Les PL sont classés en 5 types.

Classe de PL	description
1	2 essieux - 12T
2	2 essieux + 12T
3	3 essieux
4	4 essieux
5	5 essieux

Tableau 8 : Type de PL du modèle de véhicules

A chaque NST, on associe un groupe de marchandise (ou "commodity group").

On distingue 4 groupes :

- groupe 1 : les marchandises générales (produits agricoles, denrées alimentaires, produits métallurgiques, produits manufacturés) ;
- groupe 2 : les pondéreux (combustibles minéraux, minerais et déchet pour la métallurgie, minéraux bruts et manufacturés et matériaux de construction) ;
- groupe 3 : les produits pétroliers ;
- groupe 4 : les autres grandes classes de produits dangereux (engrais, produits chimiques).

En général, le groupe 2 nécessite des porteurs spéciaux et résistants (bennes), le groupe 3 des porteurs citernes, et le groupe 4 des conducteurs spéciaux, formé à l'ADR¹⁰.

NST	Commodity group
0	1
1	1
2	2
3	3
4	2
5	1
6	2
7	4
8	4
9	1

Tableau 9 : Correspondance entre les NST et les "commodity group"

Pour chaque NST, et chaque classe de distance, 100% des tonnages sont répartis entre les 5 types de PL.

10 Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route

Classe de distance	Type de PL	NST0	NST1	NST2	NST3	NST4	NST5	NST6	NST7	NST8	NST9
1	1	11,7%	8,9%	2,7%	15,8%	25,5%	9,8%	14,5%	24,5%	12,0%	13,2%
1	2	7,8%	5,9%	1,8%	10,5%	17,0%	6,6%	9,7%	16,3%	8,0%	8,8%
1	3	5,6%	2,7%	1,8%	2,4%	20,8%	4,2%	15,9%	12,5%	3,5%	4,6%
1	4	18,7%	22,1%	22,2%	8,8%	14,4%	19,3%	28,6%	18,6%	16,7%	19,4%
1	5	56,3%	60,3%	71,5%	62,5%	22,3%	60,1%	31,4%	28,1%	59,7%	54,0%
2	1	9,6%	7,9%	2,8%	13,2%	10,8%	12,7%	4,5%	9,5%	9,0%	13,1%
2	2	6,4%	5,3%	1,9%	8,8%	7,2%	8,5%	3,0%	6,4%	6,0%	8,8%
2	3	2,1%	4,4%	0,0%	1,8%	10,4%	2,0%	5,3%	10,4%	5,4%	2,4%
2	4	14,1%	23,2%	13,9%	7,0%	12,5%	12,7%	27,4%	20,3%	19,9%	20,3%
2	5	67,8%	59,3%	81,4%	69,2%	59,0%	64,2%	59,8%	53,4%	59,6%	55,4%
3	1	9,4%	8,4%	3,2%	13,3%	8,4%	7,8%	3,1%	8,1%	6,1%	11,3%
3	2	6,2%	5,6%	2,1%	8,9%	5,6%	5,2%	2,1%	5,4%	4,1%	7,5%
3	3	1,7%	2,5%	0,0%	2,2%	6,6%	1,2%	2,5%	5,6%	3,0%	1,2%
3	4	13,9%	18,8%	12,3%	7,9%	15,0%	15,0%	16,1%	13,6%	14,2%	19,3%
3	5	68,8%	64,6%	82,4%	67,6%	64,5%	70,9%	76,2%	67,4%	72,7%	60,7%
4	1	5,0%	3,1%	0,2%	3,9%	3,8%	3,3%	1,2%	0,6%	1,6%	5,7%
4	2	3,4%	2,1%	0,1%	2,6%	2,5%	2,2%	0,8%	0,4%	1,1%	3,8%
4	3	1,0%	0,8%	0,0%	0,5%	4,3%	0,6%	0,6%	0,4%	0,9%	1,0%
4	4	12,0%	14,4%	20,9%	12,1%	11,8%	16,0%	10,6%	12,7%	13,8%	18,9%
4	5	78,6%	79,6%	78,7%	81,0%	77,6%	77,8%	86,8%	85,3%	82,6%	70,6%
5	1	2,2%	0,9%	0,0%	2,1%	0,9%	1,2%	0,9%	0,4%	0,8%	4,4%
5	2	1,5%	0,6%	0,0%	1,4%	0,6%	0,8%	0,6%	0,3%	0,6%	2,9%
5	3	0,8%	0,4%	0,0%	0,3%	1,8%	0,3%	0,0%	0,0%	0,2%	0,4%
5	4	11,5%	11,8%	3,8%	11,6%	10,9%	11,2%	12,8%	14,5%	10,4%	16,5%
5	5	84,1%	86,4%	96,2%	84,6%	85,7%	86,5%	85,6%	84,3%	88,0%	75,8%

Tableau 10 : Répartition selon les catégories de déplacements

Pour chaque NST, type de PL, et classe de distance, ce tableau donne le chargement moyen d'un véhicule (valeurs exprimées en tonnes).

Classe de distance	Type de PL	Chgt moy NST0	Chgt moy NST1	Chgt moy NST2	Chgt moy NST3	Chgt moy NST4	Chgt moy NST5	Chgt moy NST6	Chgt moy NST7	Chgt moy NST8	Chgt moy NST9
1	1	3,43	3,61	3,33	4,74	4,79	3,69	6,92	4,79	3,3	3,16
1	2	6,85	7,23	6,66	9,48	9,59	7,37	13,85	9,57	6,6	6,31
1	3	9,11	10,03	3,45	11,78	7,09	5,96	11,95	9,66	4,69	7,57
1	4	19,55	19,02	23,7	21,45	16,98	16,07	20,76	18,27	14,07	12,66
1	5	21,79	20,05	23,08	24,55	16,09	18,54	24,43	20,99	17,52	14,51
2	1	2,89	2,9	6,42	5,1	4,6	3,22	4,73	4,2	2,36	2,43
2	2	5,78	5,81	12,83	10,19	9,2	6,45	9,46	8,41	4,71	4,86
2	3	8,45	11,9	13	11,37	8,7	5,05	11,17	10,94	8,58	6,79
2	4	18,27	18,38	24,78	20,83	13,58	13,07	23,76	18,12	15,44	12,01
2	5	19,78	19,4	26,04	24,41	17,83	18,19	24,91	20,83	18	13,76
3	1	2,78	3,01	2,74	5,16	5,4	2,39	4,24	3,44	2,39	2,5
3	2	5,56	6,02	5,47	10,32	10,8	4,79	8,48	6,68	4,77	5,01
3	3	8,82	9,73	13	12,91	9,98	8,2	10,57	10,73	10,83	7,01
3	4	16,79	17,3	22,46	20,53	16,7	15	22,87	20,04	16,83	11,6
3	5	17,31	18,51	24,98	22,67	20,61	17,07	23,91	22,93	18,48	13,31
4	1	2,76	3,36	1,15	4,23	6,29	3,3	3,52	4,95	1,93	2,76
4	2	5,52	6,73	2,3	8,47	12,59	6,59	7,03	9,9	3,87	5,51
4	3	9,06	8,03	10	8,16	11,98	5,96	9,98	5,64	8,03	6,43
4	4	14,9	17,52	21,89	20,69	19,63	17,71	20,83	18,86	16,47	12,55
4	5	16,31	17,98	23,2	21,57	22,29	16,39	20,87	22,82	18,31	13,31
5	1	3,42	3,4	4	4,13	6,19	2,36	4,79	5,76	2,26	2,7
5	2	6,83	6,79	8	8,26	12,37	4,73	9,58	11,52	4,52	5,4
5	3	10,94	8,93	11	10	12,24	3,7	1,59	12	3,73	5,97
5	4	15,09	17,02	22,39	19,72	19,76	15,86	17,18	19,47	15,8	11,1
5	5	15,57	17,66	23,09	16,96	21,99	16,6	19	20,54	17,81	12,3

Tableau 11 : Chargements moyens

Pour chaque groupe de marchandise, type de PL, et classe de distance, le Tableau 12 donne le « facteur de chargement à vide » d'un véhicule. Attention, ce n'est pas un pourcentage de retour à vide, même si, aux extrêmes, le résultat sera identique.

Classe de distance	Type de PL	facteur cdgoup1	facteur cdgoup2	facteur cdgoup3	facteur cdgoup4
1	1	45	45	100	45
1	2	45	45	100	45
1	3	50	50	100	50
1	4	35	35	100	35
1	5	30	30	100	30
2	1	45	45	100	45
2	2	45	45	100	45
2	3	50	50	100	50
2	4	12	12	80	12
2	5	10	10	100	10
3	1	45	45	100	45
3	2	45	45	100	45
3	3	50	50	100	50
3	4	12	12	80	12
3	5	10	10	100	10
4	1	10	10	100	10
4	2	10	10	100	10
4	3	90	90	100	90
4	4	0	0	80	0
4	5	30	30	100	30
5	1	100	100	100	100
5	2	100	100	100	100
5	3	25	25	100	25
5	4	0	0	80	0
5	5	30	30	100	30

Tableau 12 : Facteur de chargement à vide

3.3 - Principe de fonctionnement du modèle

1. A partir de la matrice des distances par OD, et du tableau des classes de distance, on commence par déterminer la classe de distance correspondant à chaque OD.
2. A partir de la matrice O/D des classes de distance, de la matrice O/D des tonnes transportées par NST, du tableau de répartition des transports, et du tableau des chargements moyens, on détermine pour chaque O/D le nombre de PL chargés pour chaque type de PL et pour chaque NST.
 1. La formule est la suivante : pour chaque type de PL et pour chaque NST :

$$PL_{k,l}(O, D) = Tonnages_l(O, D) \times \frac{Repartition(c, k, l)}{Chargement\ moyen(c, k, l)}$$

Avec :

O,D : couple origine/destination

c : classe de distance de l'OD

k : type de PL

l : classe de NST

$PL_{k,l}(O, D)$ représente pour chaque OD le nombre de PL **chargés** de type k pour la classe de NST l.

Par exemple, pour une O/D donnée (supposée de classe de distance 1), 100 tonnes de marchandises de type

$$\text{NST0 feront } \frac{100 \times (\frac{11,7}{100})}{3,14} = 3,4 \text{ PL de type 1.}$$

1. A partir de la matrice O/D du nombre de PL chargés par type de PL et par NST et du tableau de correspondance classe NST/groupe de marchandise, on détermine pour chaque O/D le nombre de PL chargés pour chaque type de PL et pour chaque groupe de marchandise.

2. Une partie de ces camions va repartir à vide, en fonction du déséquilibre des flux, des caractéristiques des marchandises. Ainsi, les trajets de transport d'essence se font du dépôt de carburant aux stations de distribution. Un camion qui transporte de l'essence à l'aller, ne peut pas revenir avec autre chose que des hydrocarbures au retour. C'est pourquoi, dans ce type de transport, la quasi-totalité des trajets retour se font à vide.

Le modèle va donc évaluer l'ensemble des flux de camion, en partant des données de camions chargés. Pour cette étape, on ne se base plus sur les dix classes NST, mais sur les 4 groupes de marchandises, appelés « commodity group ». Cela revient à considérer que prendre du fret retour d'une autre classe NST que le fret aller est possible. Ainsi on considère que les classes NST 2, 4 et 6 (les combustibles minéraux et solides, la métallurgie, et les matériaux de construction) peuvent être transportées par les mêmes camions.

On considère qu'en dessous de 500 km, les camions ne peuvent trouver du fret retour que dans leur zone d'arrivée. Le nombre de poids lourds retournant à vide dépend donc étroitement du déséquilibre des échanges entre les deux zones pour ce type de marchandise. Par contre, si le déplacement fait plus de 500 km, on considère que les poids lourds peuvent aller chercher du fret en dehors de la zone d'arrivée. La formule de calcul sera alors différente.

Le modèle fonctionne ainsi de la manière suivante :

- On commence par calculer, pour chaque type de PL et chaque groupe de marchandise, un coefficient phi, donné par la formule :

$$PHI_{k,l}(O,D) = \exp\left(-\sqrt{\frac{\max(PL_{k,l}(O,D), PL_{k,l}(D,O))}{\min(PL_{k,l}(O,D), PL_{k,l}(D,O))} \times \frac{100 - \Lambda_{k,l}(O,D)}{\Lambda_{k,l}(D,O)}}\right)$$

Lambda est un paramètre de référence, qui dépend de la classe de distance, du type de poids lourd, et du groupe de marchandise transporté, il est donné par la matrice de Facteur de changement à vide. Par exemple, pour la classe de distance 1, le type de PL 1, et le groupe de marchandise 1 : $\lambda=45$.

- On détermine ensuite, en fonction de ce paramètre phi, le nombre total de PL pour chaque O/D en appliquant une formule différente selon que la distance zone à zone est supérieure ou non à 500 km :

Pour les distances inférieures à 500 km :

$$Total\ PL(O,D) = \max(PL(O,D), PL(D,O)) + PHI(O,D) \times \min(PL(O,D), PL(D,O))$$

La formule est symétrique : $Total\ PL(O,D) = Total\ PL(D,O)$

Pour les distances supérieures à 500 km :

$$si\ PL(O,D) < PL(D,O)\ alors\ Total\ PL(O,D) = PL(O,D) + PHI(O,D) \times (PL(D,O) - PL(O,D))$$

$$si\ PL(O,D) > PL(D,O)\ alors\ Total\ PL(O,D) = PL(O,D)$$

La formule n'est ici plus symétrique.

3.4 - Résultats du modèle de véhicules

On applique le modèle de véhicules aux flux SITRAM, et on vérifie que l'ordre de grandeur du modèle trouvé est correct. On trouve un rapport de 7,14 tonnes de marchandises pour un camion, ce qui est cohérent avec les ordres de grandeurs couramment admis : 10 tonnes de marchandises transportées par PL chargé, et 30% de parcours à vide.

Le nombre de PL déterminé par ce modèle entre deux zones a ensuite été comparé aux résultats nombre de PL déterminé à l'issue des enquêtes. Ces deux nombres ne coïncident pas toujours, pour des raisons non déterminées. Ni les enquêtes routières, ni l'enquête TRM de SITRAM, ne sont systématiquement fiables, et les redressements effectués peuvent induire localement des erreurs. Ce point doit encore faire l'objet d'approfondissements.

Dans un premier temps on utilisera ce processus en scénario prospective uniquement, c'est à dire que l'on ne s'en servira que pour estimer l'évolution de la matrice actuelle issue des enquêtes (principe du pivot).

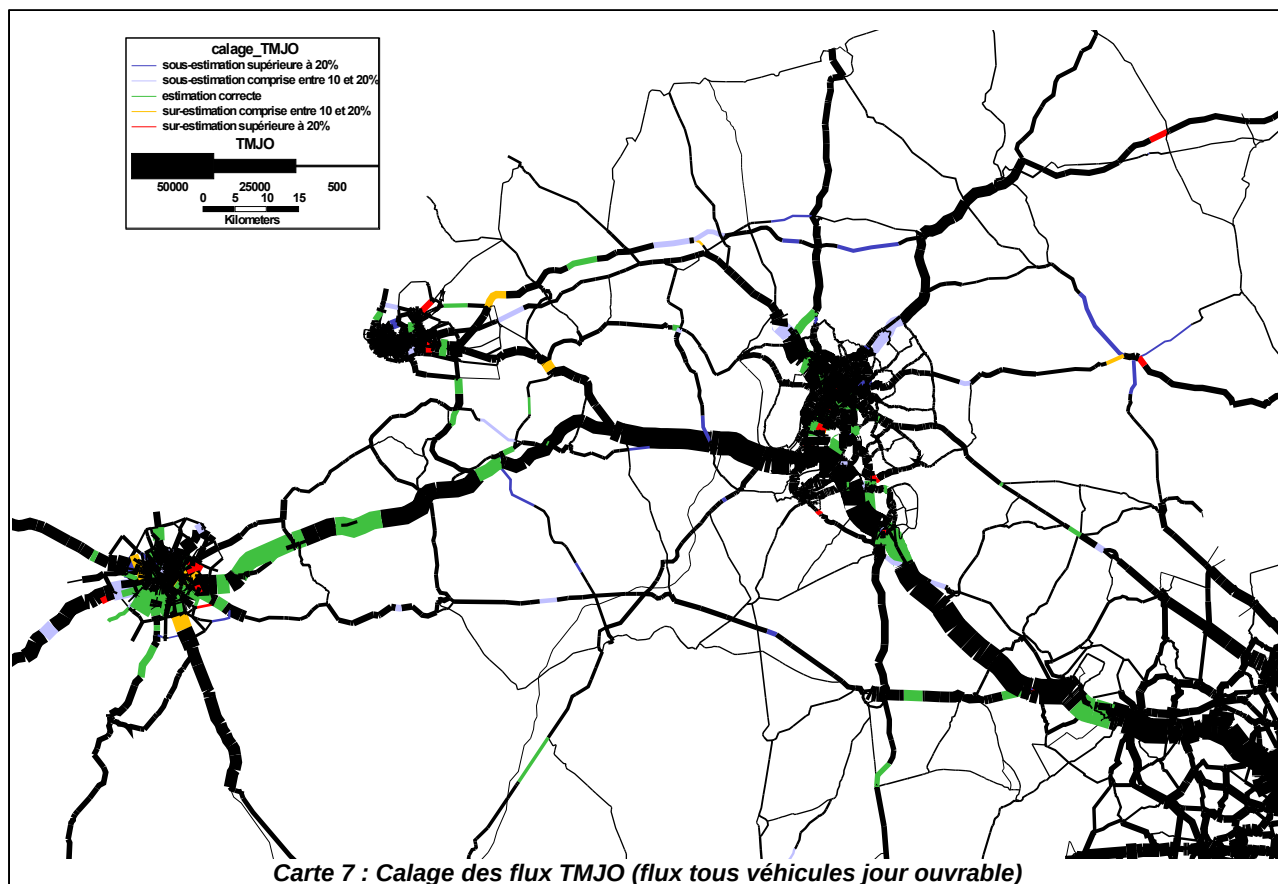
4 - Affectation

La matrice routière (en nombre de PL) obtenue est affectée sur le réseau en même temps que la matrice VL issue du modèle voyageur.

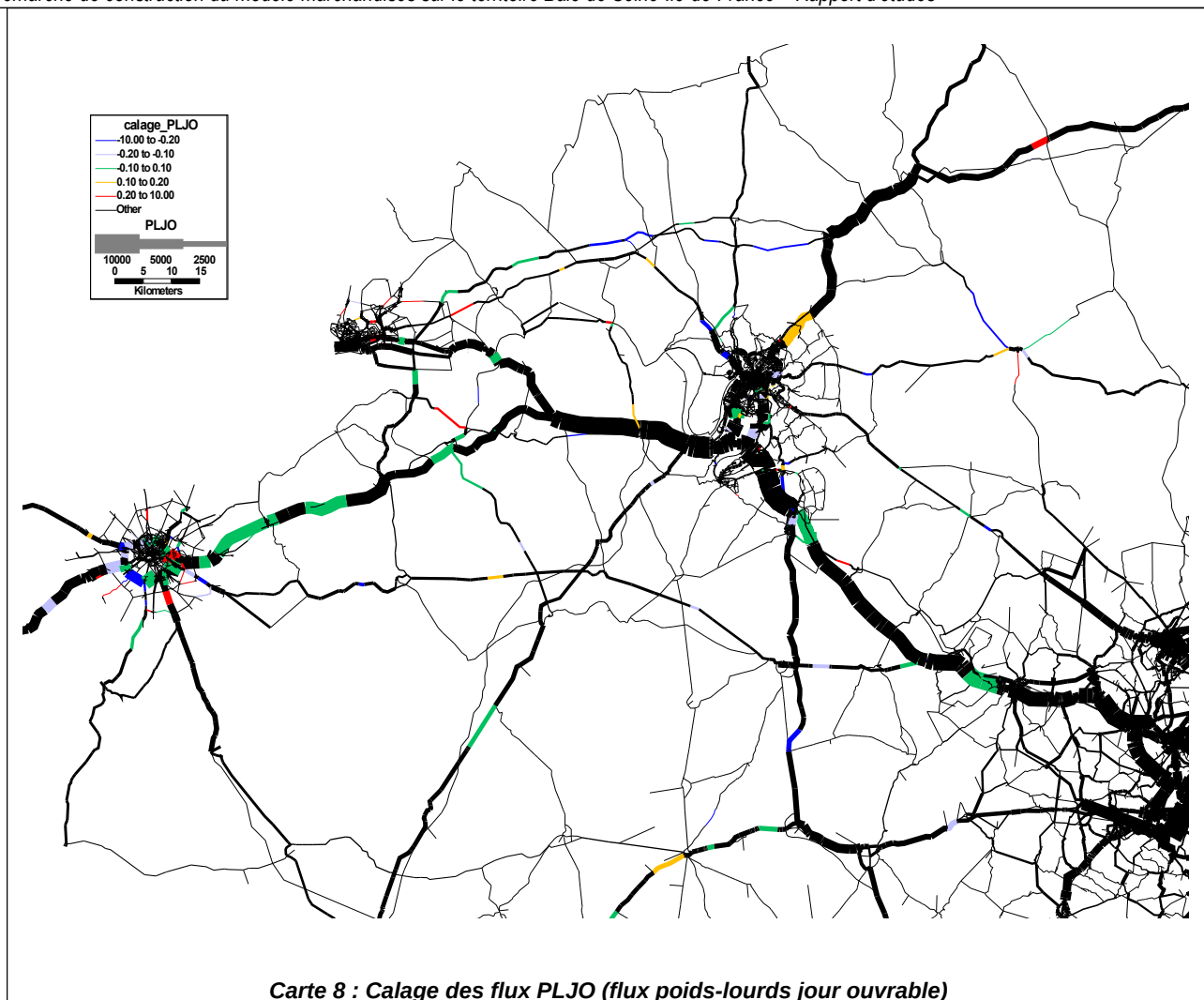
L'affectation est effectuée à l'aide du module prix-temps mis au point sous le logiciel TransCAD pour le compte du Sétra. Les paramètres suivants ont été définis :

1. Valeur du temps : il s'agit de la valeur du temps obtenue par analyse des enquêtes (VDT(%motifs, classe_dist)), multipliée par la moyenne des facteurs multiplicatifs liés aux revenus à l'origine et à la destination ($F(\text{revenu}, O)$, $F(\text{revenu}, D)$) selon la formule :
2. $VDT(O, D) = VDT(\text{\%motifs}, \text{classe_dist}) * (F(\text{revenu}, O) + F(\text{revenu}, D)) / 2$
3. Courbes débit-vitesses : les courbes débit vitesse « type » fournies par le SETRA ont été modifiées pour mieux tenir compte du fonctionnement des infrastructures (ajout de types de voie, correction des courbes).
4. Coût du déplacement : seuls les péages et la consommation de carburant sont pris en compte. La consommation vaut 7 c€/km pour les VL et 26 c€/km pour les PL. Les péages correspondent au mieux à la situation actuelle (données SAPN, SANEF sur le périmètre interne, Mappy sur les autres sections d'autoroute).
5. Relief : comme il est impossible de modifier le coefficient d'équivalence VL/PL en fonction de la pente, le facteur de concentration des PL a été multiplié par deux sur les sections à pente moyenne (entre 5 et 10 %) et par trois sur les sections à pente prononcée (> 10 %).

Les cartes suivantes permettent de visualiser la qualité du calage du modèle.



Le modèle est globalement calé avec une erreur inférieure à 10% (arcs en vert). On constate une légère sous-estimation au nord de Rouen (A150, A29, et N28) et sur la RD613, principalement du fait de l'absence d'enquêtes (manque de flux locaux dans le modèle).



Bien que la majorité des arcs soient calés avec une erreur inférieure à 10% (arcs en vert), les flux PL sont globalement moins bien calés que les flux tous véhicules, d'une part parce que les volumes concernés sont moins importants d'où une sensibilité du modèle très élevée, et d'autre part parce que les données issues des enquêtes sont moins fiables.

Chapitre 3

Seconde version du modèle

1 - Génération

1.1 - Rappel des résultats précédents

La génération a été effectuée à partir d'un zonage à la zone d'emplois, y compris en interne à la Baie-de-Seine. La démarche a consisté, pour chaque NST, à générer des flux à partir d'une zone, à partir du nombre d'emplois agricoles et industriels (classes NES A0 à H0), potentiellement générateurs de déplacements de marchandises de chaque type en émissions et en réception, et de la population. On a donc obtenu des formules de ce type, pour chaque zone i et classe de marchandises x , en fonction du type d'emploi industriel k , de la population et des coefficients de génération α et β :

$$Attraction_{x,i} = \sum_k [\alpha_k(x) \times Emplois_{k,i}] + \beta(x) \times Population_i$$

$$Emission_{x,i} = \sum_k [\delta_k(x) \times Emplois_{k,i}] + \chi(x) \times Population_i$$

Les paramètres ont été calés sur les données SITRAM (moyenne 2004-2006) à la zone d'emplois¹¹. Les résultats (récapitulés tableau 3) ont fait l'objet d'une analyse critique dans le rapport «Corridor Baie-de-Seine/Ile-de-France – description du modèle de déplacements». La fiabilité des données SITRAM sur ce zonage a été évaluée (voir annexe).

Les résultats obtenus sont donnés dans le Tableau 13.

classe NST		0		1		3		4		5		6		8		9	
Emissions/Attraction		Em	Attr	Em	Attr	Em	Attr	Em	Attr	Em	Attr	Em	Attr	Em	Attr	Em	Attr
Facteur de génération	unité																
facteurs zone																	
population	habitant		0,889		0,498	0,876	0,839						3,172				2,378
surface	km²						97,5										
emplois agricoles	UTA 2000	64,68	36,37	30,58	32,76												
emplois salariés	Nes 114																
emplois industrie agro-alimentaire	B0	233,7	192,9	300,8	249,1												
industrie des biens de consommation	C													27,98	269,3	155,7	
industrie automobile	D							7,959	13,12		7,425			6,052	203	197,4	
industrie des biens d'équipement	E													9,459	96,12	69,18	
industrie chimique	F4					56,54	26,07							51,88	23,88		
industrie des biens intermédiaires	F															87,32	57,09
raffinerie	G15					1773								583,9			
construction	H0											387,3	326,6				
manutention, entreposage	K07									30,89	11,04			72,71	53,13	442,5	321,5
industrie d'extraction	F11-F12-F14									37,89		3478	2553				
métallurgie	F5							32,32	37,83		22,15						
construction ferroviaire	E12							82,12	162		59,91						
industrie des équipements	E2							52,7	41,72		14,41						
R2		0,37	0,41	0,62	0,66	0,56	0,74	0,49	0,47	0,54	0,71	0,78	0,78	0,59	0,65	0,89	0,92

Tableau 13 : coefficients de génération

11 Pour le calage, les zones portuaires, la Corse, ainsi que Paris et certaines zones très particulières des Hauts-de-Seine ont été mises de côté car elles présentaient de trop grandes singularités.

Les paramètres qui s'avèrent non significatifs ont été éliminés. Par exemple, les émissions de produits de construction dépendent du nombre de salariés dans la construction (branche H0 de la NES 36), mais pas du nombre de salariés dans l'industrie automobile. La population intervient plus en attraction qu'en émission (pour les produits pétroliers, la population est un paramètre d'émission, mais cela est dû à la couverture du territoire en dépôt pétrolier).

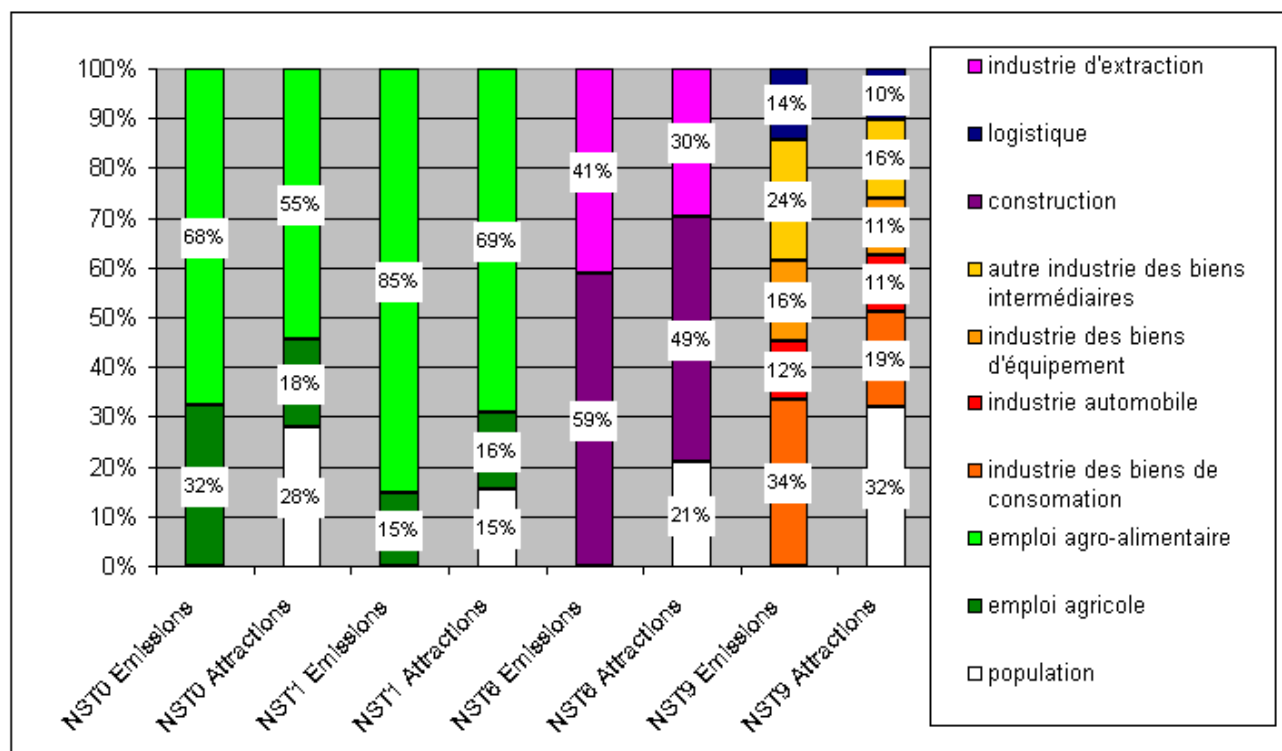
La phase précédente a permis de déterminer des coefficients de générations pour 8 NST. Pour les NST 2 (combustible solide, principalement le charbon) et 7 (les engrais), il n'a pas été possible de déterminer une corrélation suffisamment établie entre les facteurs socio-économiques d'une zone et les réceptions et émissions de ces marchandises. Cela est probablement dû aux schémas très particuliers qui régissent ces transports de marchandises, et à la faible activité liée, qui induit une tendance à la non fiabilité des données SITRAM (voir annexe).

On rappelle cependant que les valeurs obtenues expriment des corrélations entre variables, et ne sont donc pas à interpréter comme des consommations. Par exemple, la logistique en compte propre n'apparaît pas, et est donc exprimée sur d'autres variables comme par exemple la population.

1.2 - Évaluation de la part des différents facteurs

Dans cette étude nous allons utiliser ces coefficients de génération en prospective, ce qui sous-entend qu'on estime que le lien entre les emplois et la génération est un lien de causalité, et non une simple corrélation. Il s'agit ici d'une hypothèse nécessaire.

Avant de modéliser ces scénarios de prospective, il est donc intéressant de considérer la part des différents facteurs dans l'évaluation des tonnes générées par l'ensemble des zones (seules les 4 principales NST sont représentées sur les graphiques suivants).



Graphique 3 : part des facteurs de génération en émissions et en attractions

Ce sont essentiellement les emplois qui expliquent les mouvements de marchandises dans notre modèle, même en réception. Toutefois, il faut noter que, en particulier à la maille de la zone d'emplois, emplois et population sont largement corrélés. Cela peut toutefois être le signe que les livraisons finales au consommateur représentent une part minoritaire des flux, par rapport aux déplacements imposés par la structure du système productif. Le poids de l'industrie est prépondérant pour les NST 0, 1 et 9, même en réception.

Il faut toutefois remarquer que population et emplois sont en partie corrélés, en particulier à la zone d'emploi. Pour la NST 6, le poids de l'industrie extractive est important.

On peut s'attendre à ce que le scénario 4, qui agit beaucoup sur les emplois dans le transport, modifie peu la génération de marchandises, par rapport à un scénario équivalent sans action sur le transport.

1.3 - Utilisation de ces formules de génération

Dans le modèle, les formules de génération ne sont pas utilisées pour calculer la génération à la zone d'emplois. On part donc directement des flux SITRAM à la zone d'emplois pour l'étape de distribution. Par contre, ces formules seront utilisées :

- à l'année de calage, pour désagréger les flux issus de la distribution (voir chapitre suivant) ;
- en prospective, pour estimer l'évolution des flux générés par les zones d'emplois : on fait donc un pivot à partir des données SITRAM à l'année de calage.

Cette technique nous permet d'éviter un écueil important vis-à-vis des flux portuaires : en effet, les zones portuaires ont été retirées (ainsi que certaines zones d'Ile-de-France) des données de base qui ont servi à caler la génération, considérant qu'elles étaient trop particulières. Si nous avions appliqué nos formules de génération dès l'année de calage, les flux générés par ces zones atypiques seraient donc complètement faussés par rapport à la réalité (on rappelle que dans SITRAM, les flux générés par les ports sont bien recensés, à condition qu'ils soient effectués par un transporteur français).

2 - Distribution

2.1 - Rappel des résultats précédents

La distribution avait également été calée à partir des données SITRAM (par O/D cette fois-ci) à la zone d'emplois, là encore avec une fiabilité variable. Le modèle utilisé était un modèle gravitaire : la fonction de résistance étant une fonction puissance inverse de la distance (après étude, il s'est avéré que la puissance inverse donnait de meilleurs résultats qu'une fonction exponentielle), et on utilisait des facteurs correctifs, appelés facteurs K, calculés de zone d'emplois à zone d'emplois

La formule était donc de la forme :

$$F(NST_k)_{ij} = E_i \times A_j \times \text{Distance}^{(-\alpha_k)} \times K_{ij}$$

2.2 - Reprise de la formulation du modèle de distribution

Afin de mieux prendre en compte les caractéristiques du réseau, une fonction de résistance dépendant du coût généralisé du transport et non de la distance a été recherchée.

Le coût généralisé a été calculé de la manière suivante :

$$CG_{OD} = \text{Coût}_{\text{horaire}} \times Tps_{OD} + \text{Coût}_{\text{km}} \times \text{Longueur}_{OD} + \text{Péage}_{OD}$$

Le coût horaire¹² et le coût kilométrique d'utilisation du véhicule ont été respectivement choisis égaux à 37,5 € par heure et 0,39 € par kilomètre, d'après le site du CNR¹³. Les péages sont exprimés en € HT.

Pour le calcul des valeurs des paramètres Temps, Longueur et Coût pour chaque OD, c'est le réseau 30 000 arcs (moyennant quelques corrections sur les péages) qui a été utilisé (les temps de parcours calculés sont les temps à vide).

Enfin, la vitesse intra-zone a été prise à 60 km/h (la distance intra-zone étant calculée grâce au ratio tonnesxkilomètres/tonnes à partir de SITRAM). La valeur retenue permet de caler correctement la part d'intrazone.

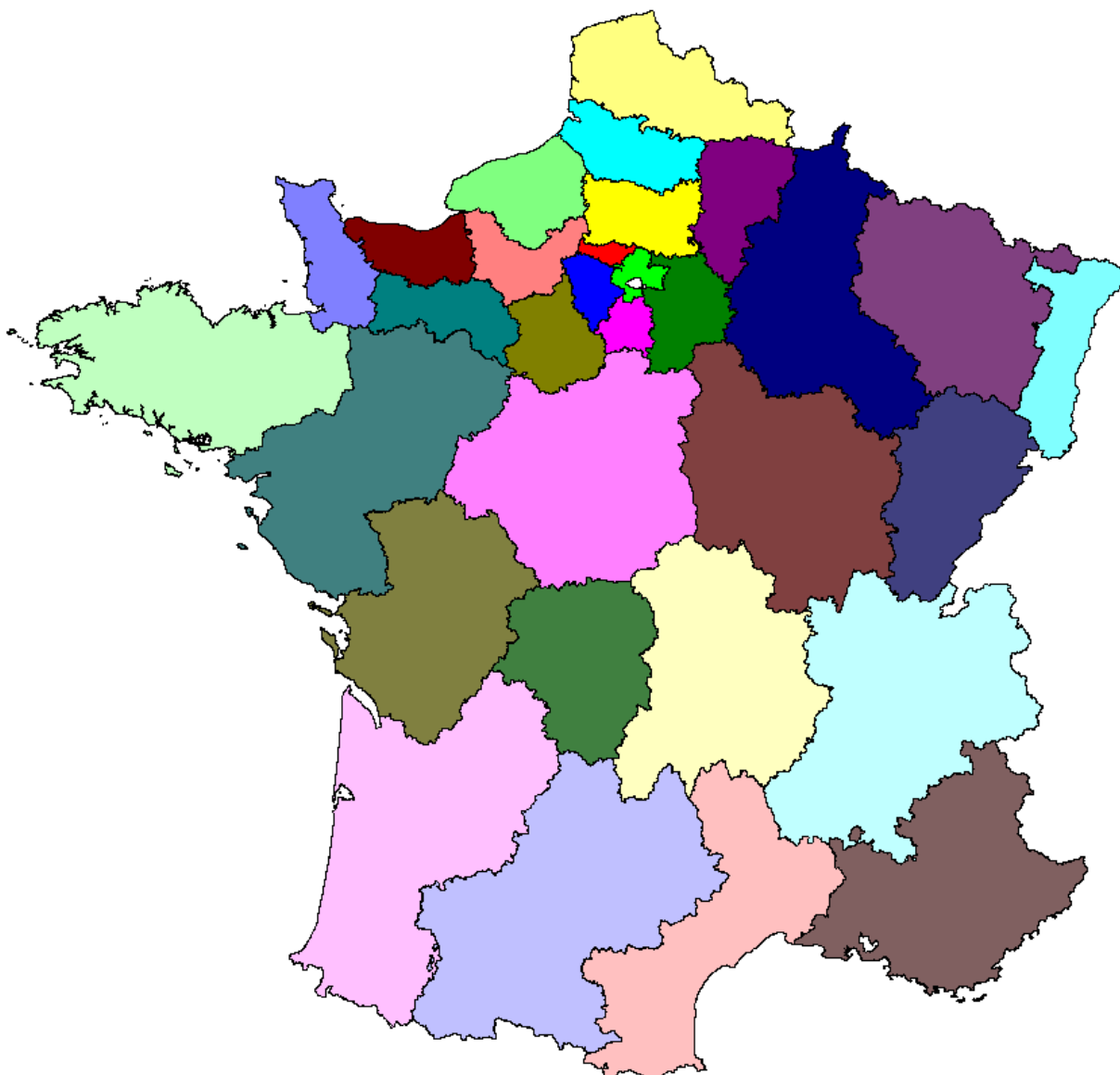
Par ailleurs, l'étude de la fiabilité des données SITRAM par OD sur le zonage à la zone d'emplois (voir annexe), a conduit à remettre totalement en question le calcul des facteurs correctifs (facteurs K) sur ce niveau de zonage. Ainsi, un niveau de zonage plus agrégé a été recherché, afin de disposer de données fiables statistiquement (données SITRAM par NST). L'objectif étant de disposer de données fiables sur le territoire de la Baie-de-Seine, le zonage choisi est assez fin à l'intérieur de la Baie-de-Seine (zones d'emplois agrégés

12 Attention à ne pas confondre avec la valeur du temps : le coût horaire est largement fixe, car composé du salaire du chauffeur et des cotisations salariales, qui varient peu selon les entreprises et les activités. Par ailleurs, Ici le coût horaire comprend aussi les frais fixes (journaliers)

13 Comité National Routier : <http://www.cnr.fr>

La fiabilité des données SITRAM par OD (et par NST) sur ce niveau de zonage a été évaluée et est résumée en annexe.

Le zonage retenu est le suivant :



Carte 9 : zonage agrégé utilisé pour caler la distribution

La nouvelle formule de distribution est donc la suivante :

$$F(NST_k)_{ij} = E_i \times A_j \times \text{Coût Généralisé}^{(-\alpha_k)} \times K_{ij}$$

Avec la contrainte, pour tout i et j :

$$\sum_i F_{ij} = E_i$$

et :

$$\sum_j F_{ij} = A_j$$

Où :

$F(NST_k)_{ij}$ = flux émis par la zone i et reçu par la zone j, pour la NST k.

E_i = émission de la zone i

A_j = attraction de la zone j

α_k = coefficient de résistance au coût généralisé, pour la NST k

K_{ij} = coefficient de correction entre zone agrégée, calculé pour chaque NST et chaque relation.

Les coefficients trouvés sont les suivants :

classe NST	paramètre pnst
NST0	2,14
NST1	1,98
NST2	2,49
NST3	3,18
NST4	2,64
NST5	1,60
NST6	3,09
NST7	2,60
NST8	1,62
NST9	1,76

Tableau 14 : paramètres de résistance à la distance

La répartition des valeurs des facteurs K obtenus sont les suivantes :

Valeurs de K	NST0	NST1	NST6	NST9
$K < 0,25$	19%	14%	22%	3%
$0,25 < K < 0,5$	18%	17%	16%	16%
$0,5 < K < 0,75$	18%	17%	16%	27%
$0,75 < K < 1$	13%	16%	11%	21%
$1 < K < 1,5$	15%	19%	16%	20%
$1,5 < K < 2$	7%	9%	7%	8%
$2 < K < 4$	7%	8%	7%	5%
$K > 4$	3%	1%	4%	0%

Tableau 15 : Valeurs des facteurs de correction

Entre 50 et 75 % des coefficients K sont compris entre 0,5 et 2, et imposent une correction relativement modérée. On remarque que la NST 9 obtient les «meilleurs» résultats, car les flux sont mieux répartis sur le territoire et donc le modèle gravitaire fonctionne mieux. Pour la NST 6, les coefficients sont plus éloignés de 1, ce qui s'explique car les flux sont plus concentrés et que donc certaines OD ont des flux quasiment nuls en réalité, alors que le modèle gravitaire attribuera toujours des flux à ses échanges. On observe toutefois un nombre assez important de flux qui sont corrigés avec un facteur inférieur à 0,5 ou supérieur à 2, et pour lesquels on pourrait en déduire que le modèle gravitaire n'est pas satisfaisant.

Cependant, si l'on rapporte les coefficients aux tonnages qu'ils viennent corriger, les résultats sont les suivants :

Valeurs de K	NST0	NST1	NST6	NST9
$K < 0,25$	0%	0%	0%	0%
$0,25 < K < 0,5$	2%	2%	1%	1%
$0,5 < K < 0,75$	9%	7%	3%	10%
$0,75 < K < 1$	27%	24%	19%	35%
$1 < K < 1,5$	50%	56%	75%	43%
$1,5 < K < 2$	8%	6%	1%	7%
$2 < K < 4$	3%	4%	0%	4%
$K > 4$	1%	0%	0%	0%

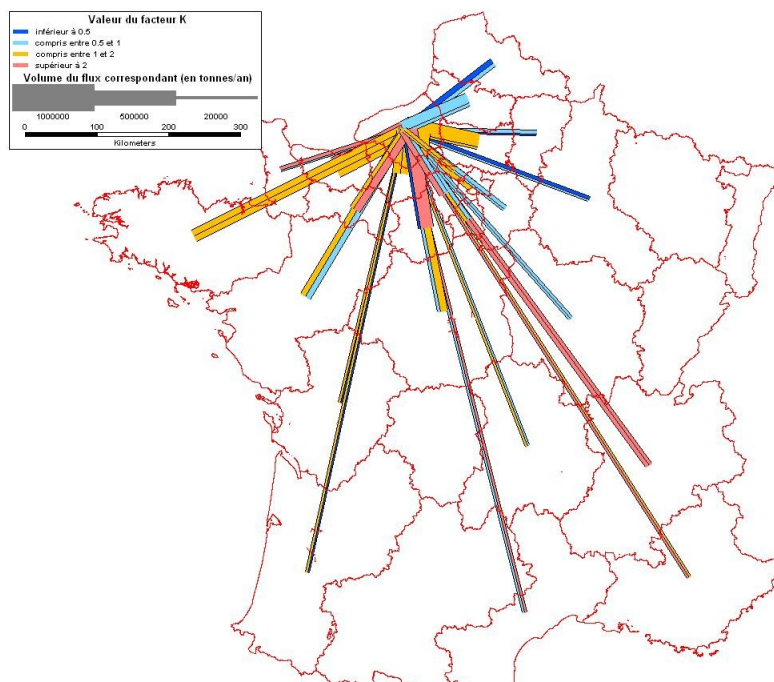
Tableau 16 : Valeurs des facteurs de correction rapportés au tonnage

Dans la plupart des cas, les flux fortement corrigés avec les facteurs K étaient des flux très faibles en tonnages. En réalité, en termes de tonnage, plus de 90 % des flux sont affectés d'un coefficient supérieur à 0,5 et inférieur à 2, ce qui tend à conforter l'utilisation d'un modèle gravitaire.

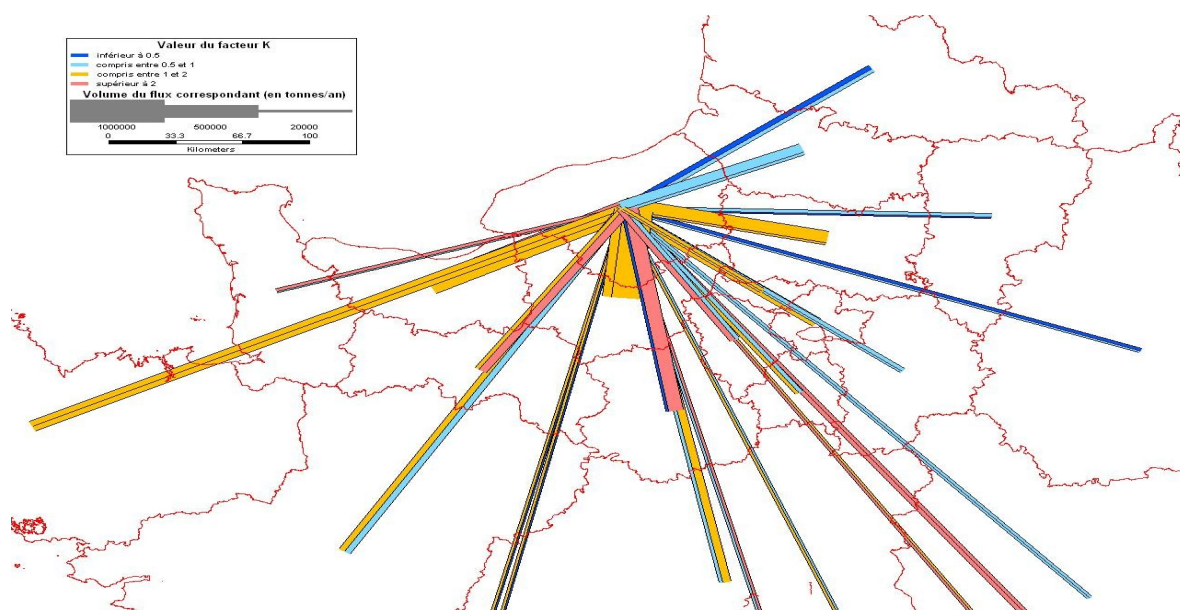
Les valeurs de ces coefficients K traduisent plusieurs effets :

- des effets structurels que le modèle gravitaire ne peut représenter : distribuer à partir du seul critère de coût généralisé paraît très simplificateur. Dans certains cas, notamment les biens les plus élaborés, le prix du transport ne joue presque pas dans le prix final de la marchandise, notamment par rapport aux prix des installations fixes. Dans ce cas, il est courant d'observer un seul site desservant l'ensemble de la France. Le volume d'échange entre ce site et les autres régions ne dépendra pas de la distance. Autre cas, celui des marchandises très spécifiques, produites dans un seul endroit. On peut citer le cas du champagne, qui n'est produit qu'en une seule zone, et qui va alimenter les autres régions françaises indépendamment du critère de distance. La traduction dans notre modèle sera donc dans ce cas là une correction des flux à la hausse pour les liaisons éloignées ;
- une segmentation insuffisante des types de marchandises : par exemple, pour la NST 0, si une région exporte beaucoup de blé et sa région limitrophe importe beaucoup de betteraves, les échanges entre les deux régions obtenus avec un modèle gravitaire seront importants, alors que ce n'est pas le cas en réalité, donc le facteur K corrigera ces flux à la baisse ;
- des liaisons économiques privilégiées entre zones.

Pour la zone agrégée correspondant approximativement au département de la Seine-Maritime (76), nous allons ainsi observer et analyser la valeur de ces coefficients K pour les principaux types de marchandises. La couleur des traits représente la valeur du coefficient K. L'épaisseur représente le volume du flux correspondant (attention, l'échelle de volume n'est pas identique pour les 4 NST). Les flux inférieurs à 20 000 tonnes par an n'ont pas été représentés.



Carte 10 : visualisation des facteurs K relatifs au département 76, pour la NST 0



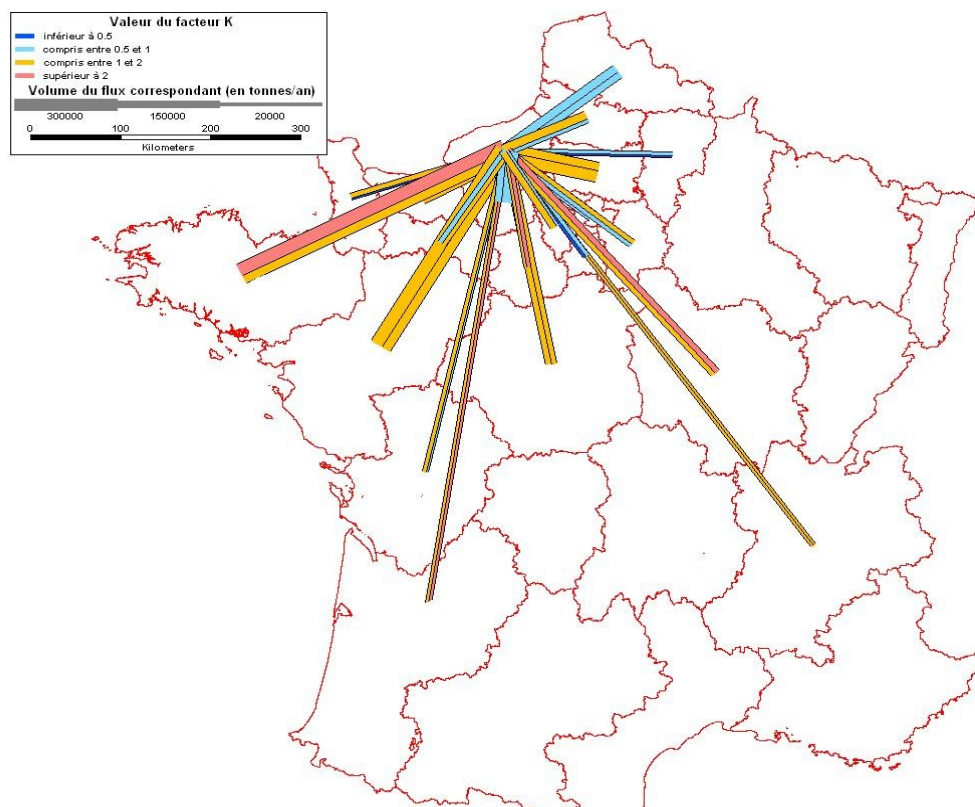
Carte 11: visualisation des facteurs K relatifs au département 76, pour la NST 0 – zoom sur la Baie-de-Seine

On observe que les coefficients sont très inférieurs à 1 pour les flux d'échange avec le Nord-Est de la France. A l'inverse, ils sont très supérieurs à 1 pour les flux d'échange avec le Sud-Est de la France, la Bretagne et l'autre partie de la Normandie. Ceci traduit des facteurs structurels intéressants que le modèle gravitaire ne peut pas prévoir : pour les flux agricoles, la Seine-Maritime semble donc d'avantage tournée vers l'Ouest et le Sud-Est qu'avec les régions du Nord et de l'Est de la France.

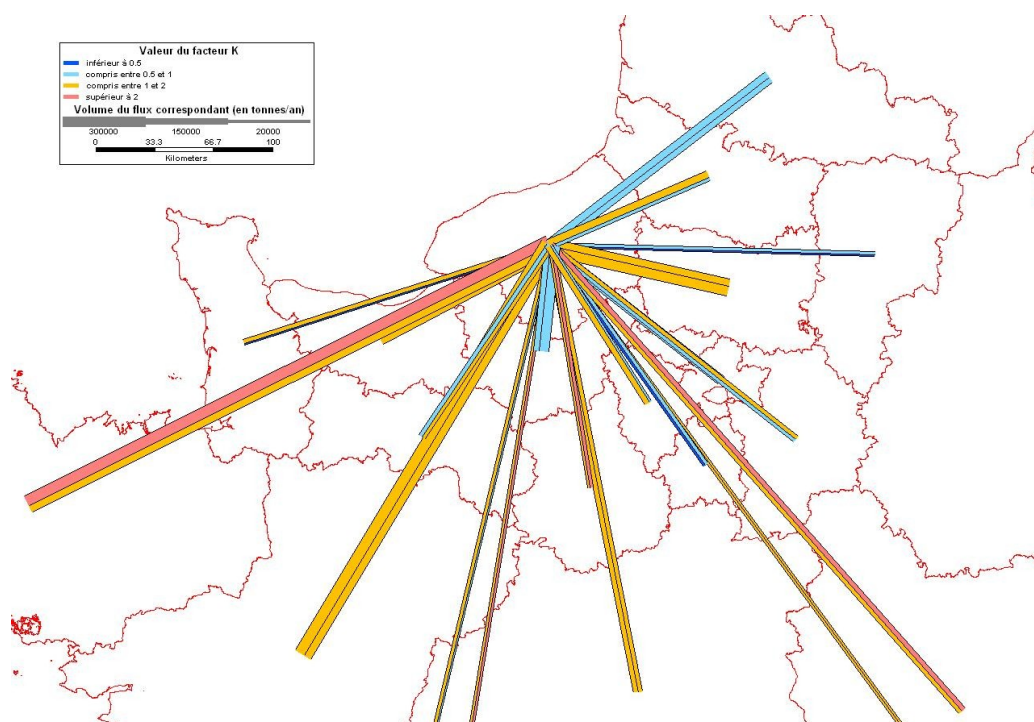
On observe également une dissymétrie intéressante pour les échanges avec l'Eure-et-Loir et avec les autres départements de la région Centre : les importations sont corrigées par un coefficient important, alors que les exportations sont corrigées par un coefficient très faible.

Ce phénomène traduit ici l'importance du port de Rouen, qui reçoit des flux de céréales en provenance de l'Eure-et-Loir et de la région Centre en vue d'une exportation, alors que les produits agricoles produits en Seine-Maritime ne sont pas spécialement exportés vers la région Centre.

Globalement, l'on constate que les coefficients sont assez éloignés de 1 : le modèle gravitaire ne reproduit donc pas scrupuleusement la structure des flux agricoles, ceci est lié au fait que la segmentation de ces flux est insuffisante.



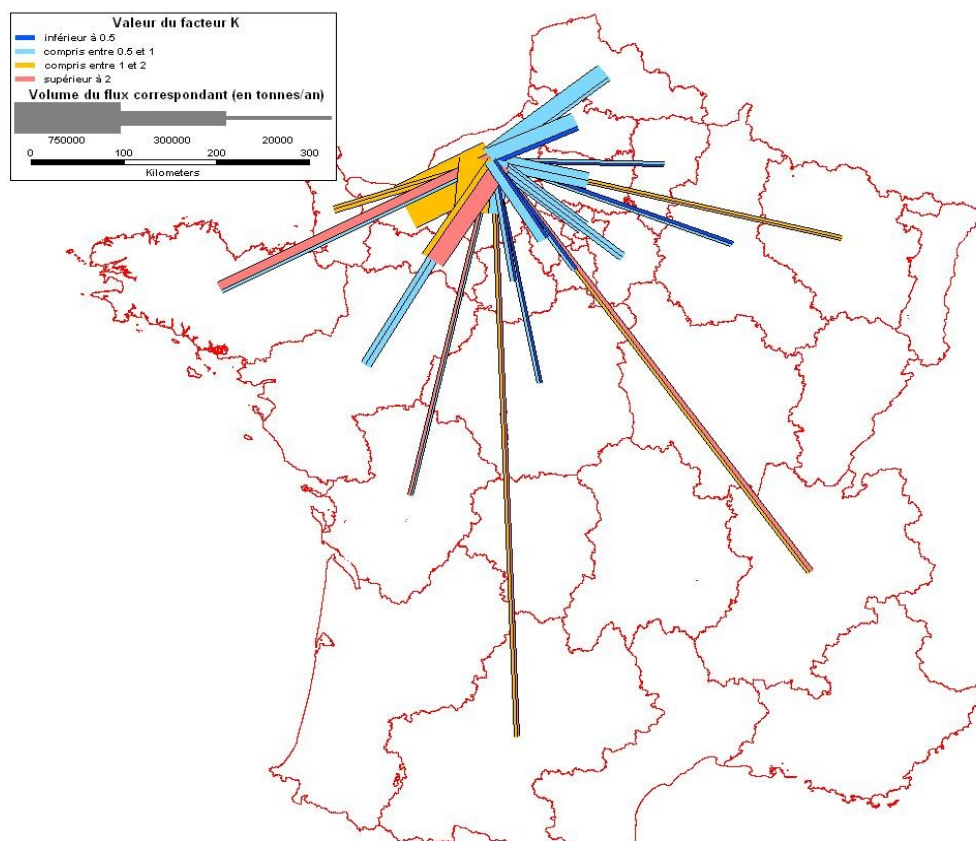
Carte 12 : visualisation des facteurs K relatifs au département 76, pour la NST 1



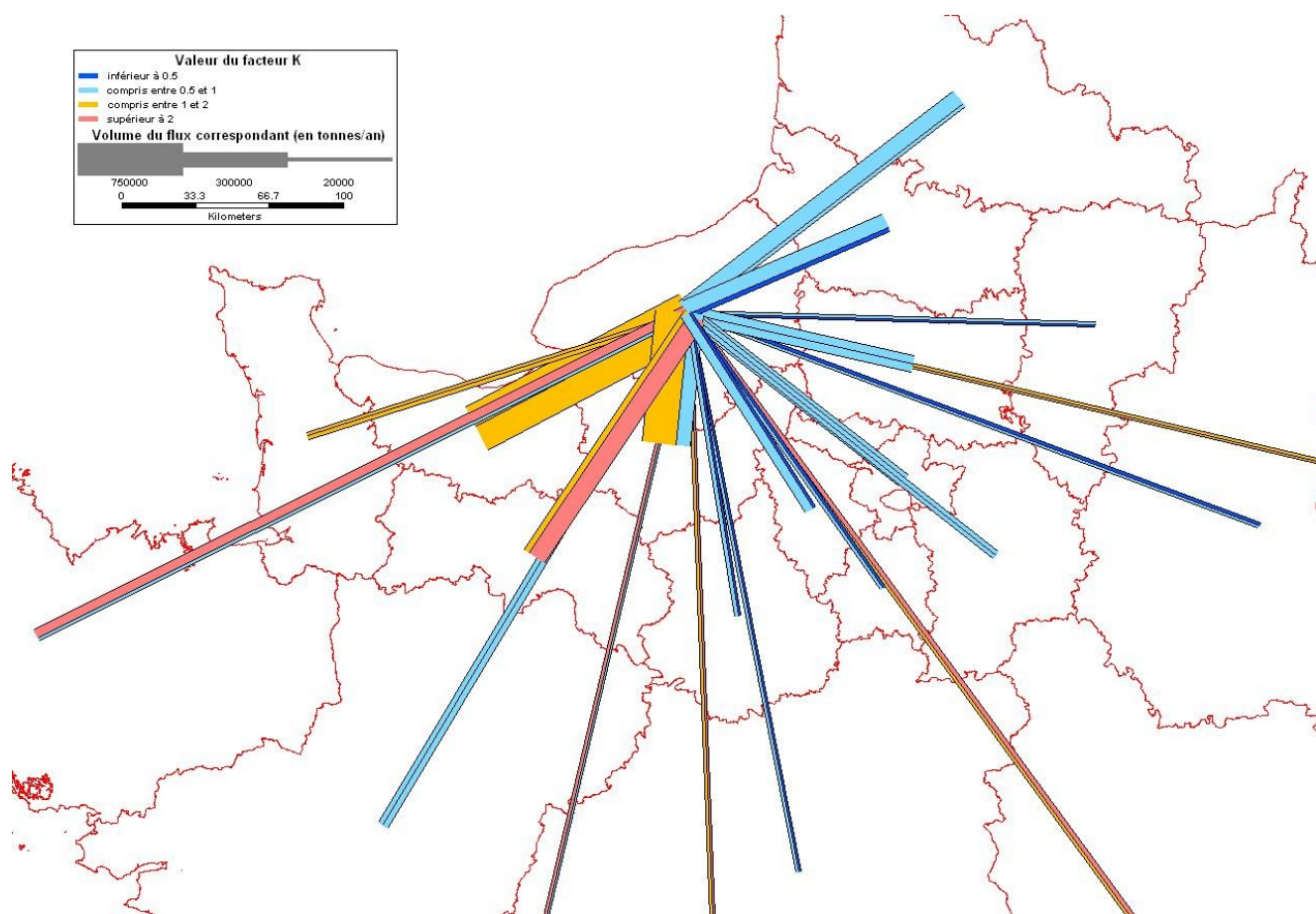
Carte 13 : visualisation des facteurs K relatifs au département 76, pour la NST 1 – zoom sur la Baie-de-Seine

Le modèle gravitaire semble mieux fonctionner que pour la NST 0, puisque l'on observe moins de flux en rouge ou bleu foncé. Le phénomène structurel évoqué précédemment, à savoir la relation privilégiée avec l'Ouest aux dépens du Nord et de l'Est semble se confirmer pour l'agroalimentaire.

En particulier, la Bretagne attire plus de produits de l'industrie agroalimentaire en provenance de Normandie que le modèle gravitaire «simple» ne semble pouvoir expliquer. Après analyse des données SITRAM, il semble que ces flux soient principalement des denrées pour l'alimentation animale (notamment le soja importé), et des oléagineux, a priori en partie en provenance du port de Rouen. Ces flux traduisent l'importance de l'élevage animal en Bretagne.



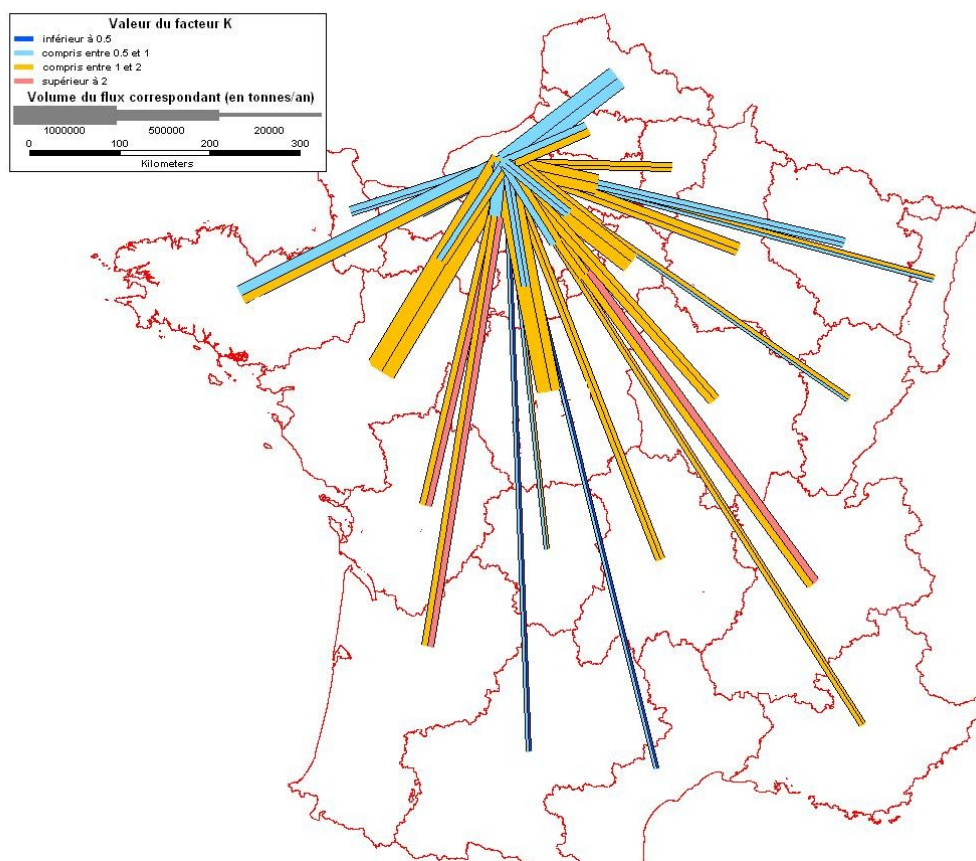
Carte 14 : visualisation des facteurs K relatifs au département 76, pour la NST 6



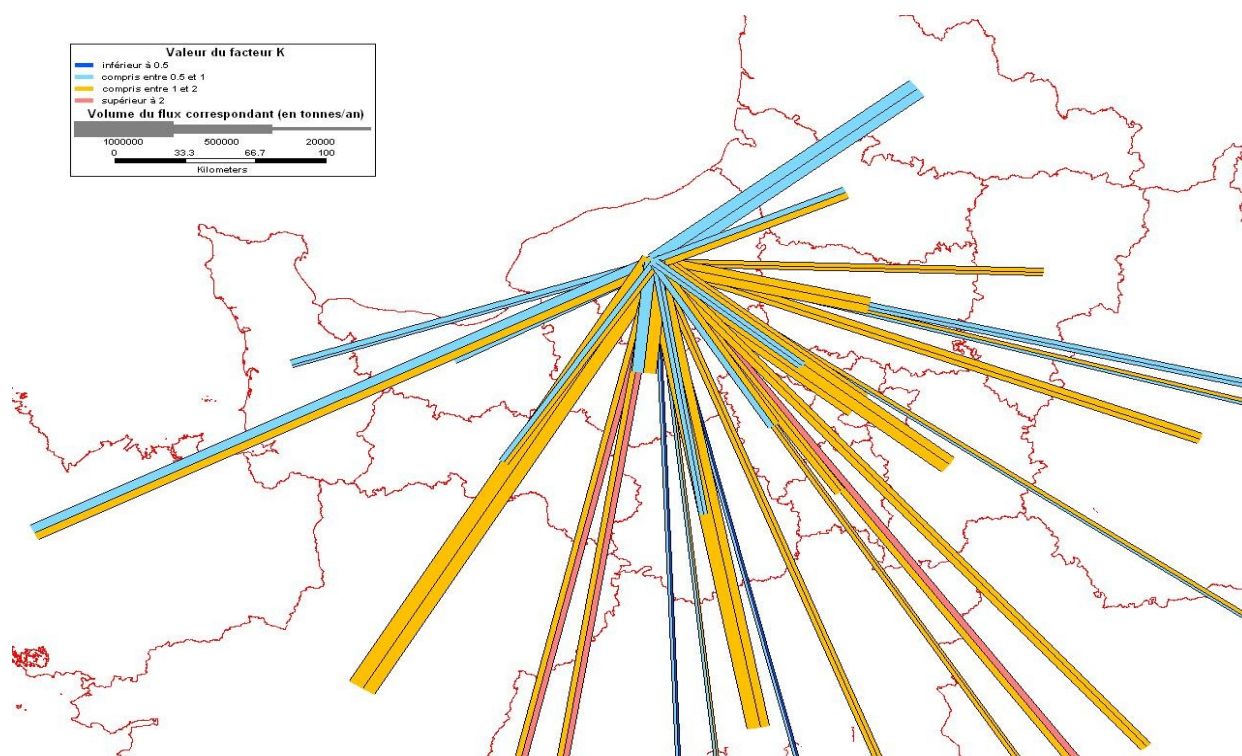
Carte 15 : visualisation des facteurs K relatifs au département 76, pour la NST 6 – zoom sur la Baie-de-Seine

Les flux sont majoritairement de courte distance et l'on observe que les coefficients K des flux d'échange avec les régions du Nord et de l'Ile-de-France sont faibles, alors que ceux des flux d'échange avec les départements limitrophes en Normandie ou avec la Bretagne sont importants.

Les régions du Nord et l'Ile-de-France sont donc principalement alimentées en matériaux de construction par les carrières du bassin Parisien, alors que les carrières de Seine-Maritime semblent davantage alimenter les autres départements Normands et la Bretagne (et inversement). Le modèle gravitaire ne décrit pas parfaitement la NST 6, mais les tonnages les plus importants (flux locaux entre la Seine-Maritime et l'Eure, le Calvados) présentent des coefficients K assez proches de 1.



Carte 16 : visualisation des facteurs K relatifs au département 76, pour la NST 9



Carte 17 : visualisation des facteurs K relatifs au département 76, pour la NST 9 – zoom sur la Baie-de-Seine

Le modèle gravitaire semble beaucoup mieux fonctionner pour la NST 9, puisque les flux sont bien mieux répartis sur le territoire et les coefficients K sont le plus souvent assez proches de 1 (très peu de flux en rouge ou bleu foncé).

2.3 - Désagrégation de la distribution

La distribution a été calibrée en utilisant un zonage à la zone d'emplois. Pour calculer les flux sur le zonage fin, deux solutions sont alors possibles :

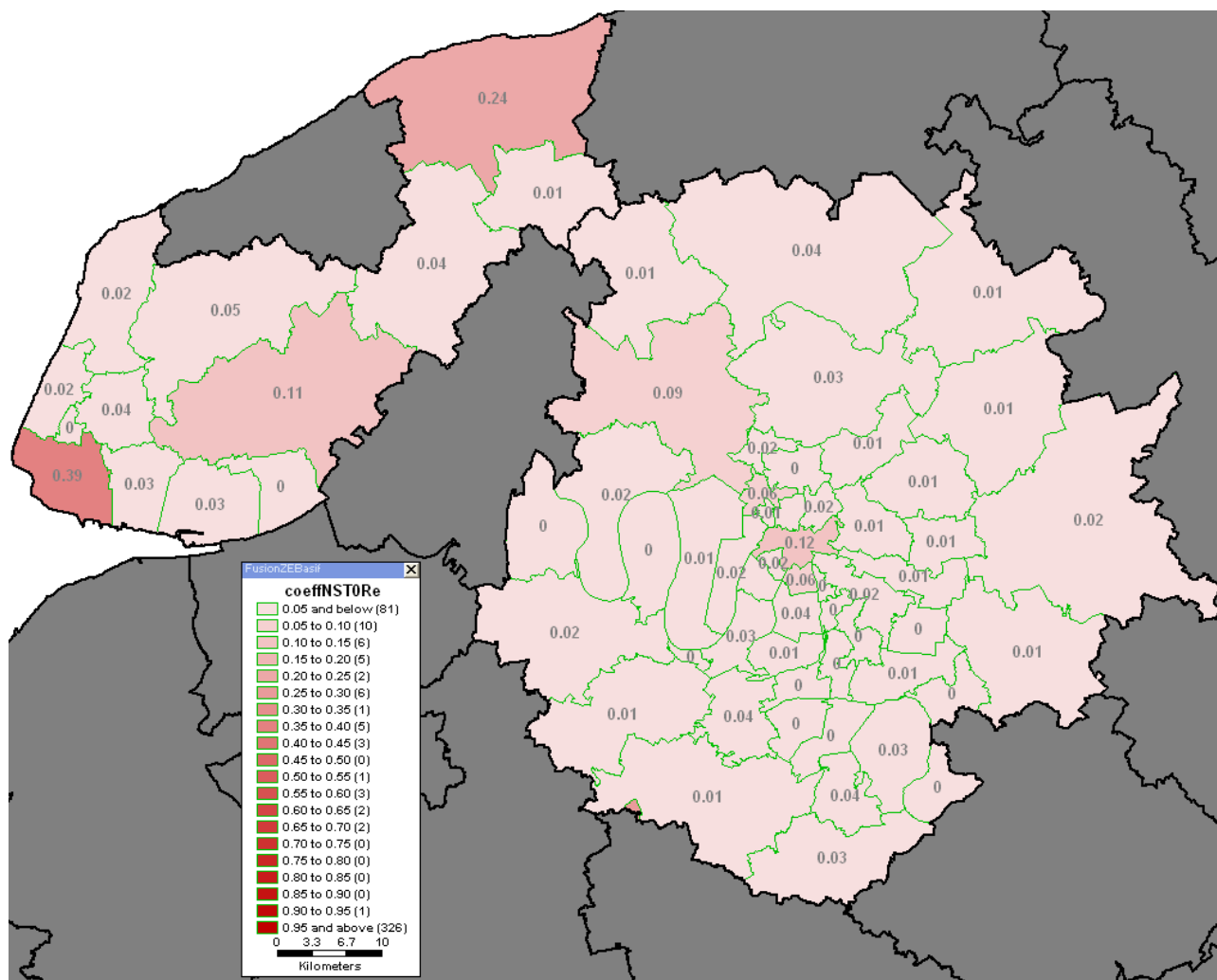
- distribuer à la zone d'emplois et ensuite désagréger les résultats sur le zonage fin ;
- distribuer directement sur le zonage fin.

Nous considérons que pour les flux internes à la zone d'emplois (donc à très courte distance) le modèle gravitaire n'est plus aussi pertinent car le coût généralisé du transport a moins ou plus du tout d'importance dans le choix du transport (notamment par rapport à la manutention). Nous avons donc préféré effectuer la distribution à la zone d'emplois et la désagréger sans tenir compte du coût généralisé du transport plutôt que d'effectuer directement la distribution sur le zonage fin.

De plus, au niveau de la zone fine Baie-de-Seine, les données SITRAM ne sont pas suffisamment fiables¹⁴ pour pouvoir calculer la distance intrazone en utilisant le rapport tonnes-kilomètres/tonnes comme cela a été effectué au niveau de la zone d'emplois (par exemple, pour la zone fine de Rouen qui correspond à la commune, les données SITRAM donnent une distance intrazone moyenne de 35 km, ...). Il est donc nécessaire de pouvoir estimer autrement cette distance intrazone pour les zones fines Baie-de-Seine. Or, aucune corrélation n'a pu être mise en évidence entre l'aire et le rayon de la zone et la distance moyenne intrazone, donc cette option a été abandonnée.

Pour désagréger les résultats de la distribution, nous calculons donc la génération au niveau des zones fines à partir de leurs données d'emplois et de population, en utilisant les formules de génération qui ont été calibrées, et nous répartissons les flux d'une zone d'emplois proportionnellement à la génération des zones fines constitutives de cette zone.

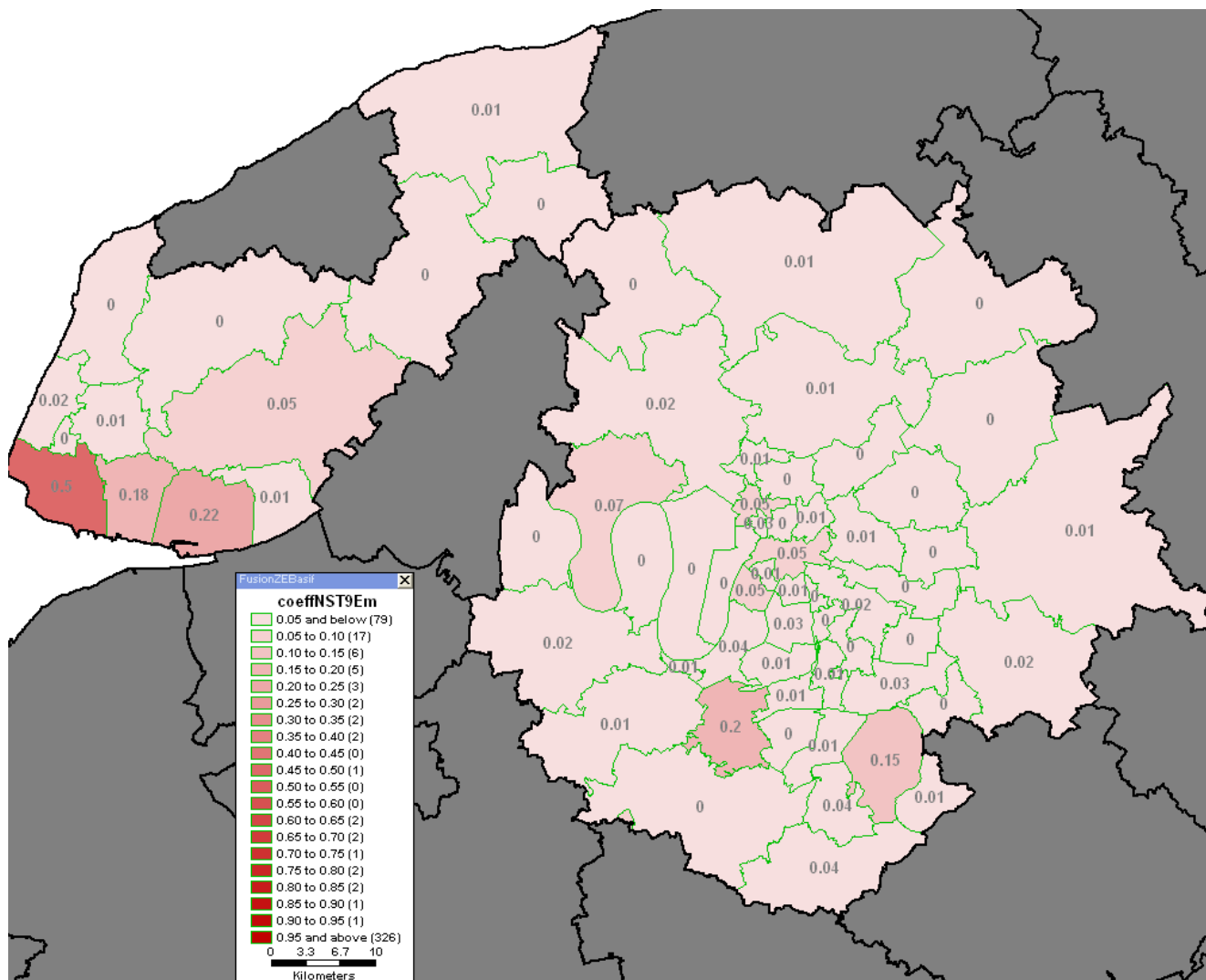
¹⁴ Il a été remarqué que souvent les transporteurs indiquaient dans leur réponse la ville-centre alors que leur provenance ou leur destination réelle était une commune de la périphérie. Cela peut notamment être vérifié pour les flux d'hydrocarbures, où l'on connaît le générateur principal, qui est le dépôt pétrolier.



Carte 19 : répartition réception NST 0

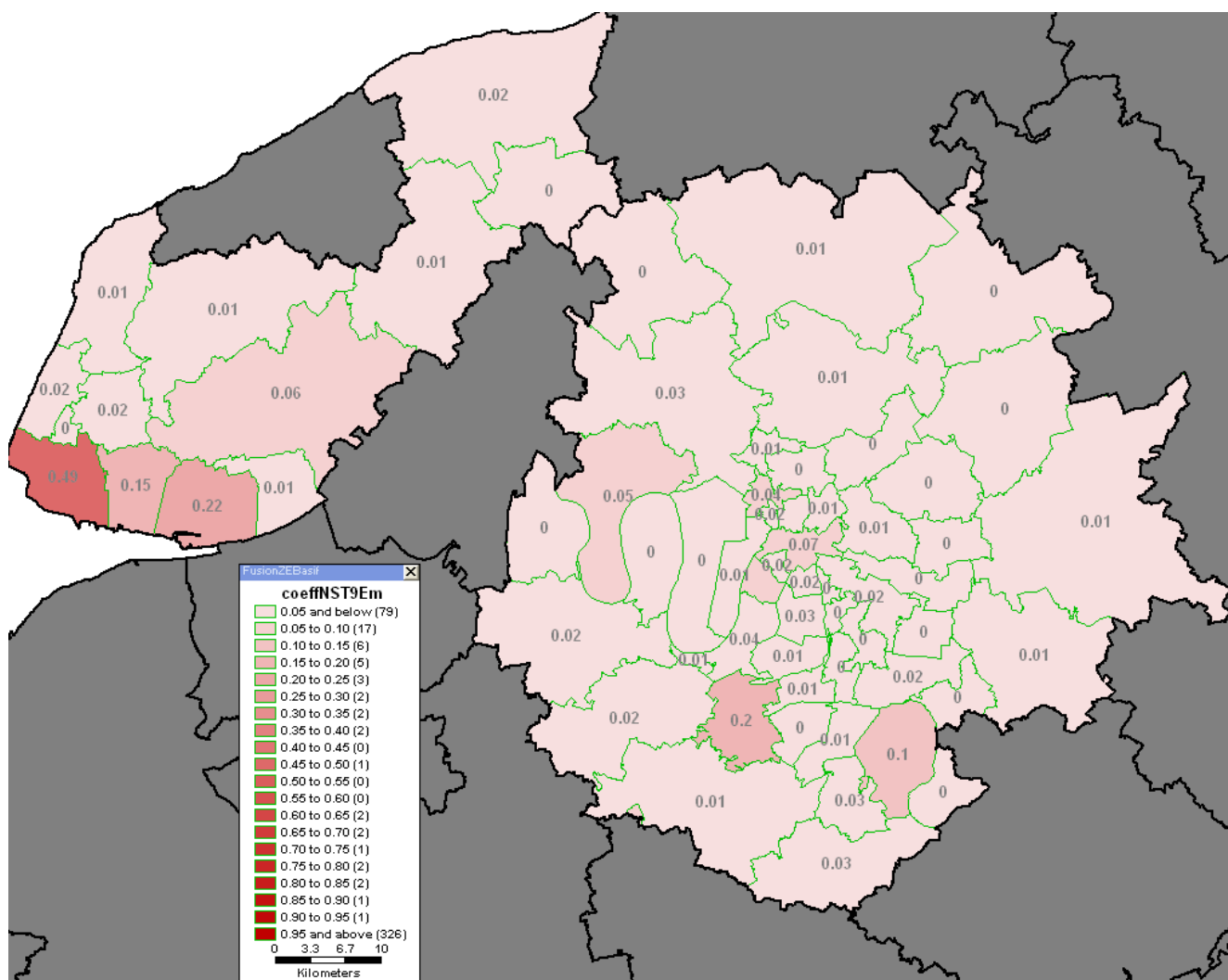
La carte des réceptions de NST 0 ressemble à celle des émissions, mais le poids des villes est logiquement majoré, car en réception, la population est également un critère important.

On aurait pu penser simplement que les flux de NST 0 étaient toujours de sens campagne-ville, des agriculteurs à l'industrie agro-alimentaire, pour être transformés en produits agro-alimentaires (NST 1), et à la population, pour être consommés directement. L'analyse statistique des flux à la zone d'emplois (voir le rapport de la phase précédente) semble indiquer que ce n'est pas le cas. Les flux transitent souvent par des centres de stockage à proximité des activités, les agriculteurs s'échangent des flux agricoles (fourrage, semences, ...). La répartition fine des émissions et des réceptions de notre modèle, si elle ne peut être confirmée par des données d'enquêtes inutilisables à cette échelle, tente de représenter cette complexité.



Carte 20 : répartition des émissions NST 9

Concernant les flux de NST 9, les émissions sont principalement liées à la présence d'emplois industriels et, en second lieu, à la logistique (voir tableau 3), ce qui explique l'importance du Havre et de la zone portuaire qui représentent 90 % des émissions de la ZE du Havre ou des zones de Cléon (où se situe une grande usine Renault) et de Tourville pour la ZE de Rouen. A contrario, de nombreux territoires ne génèrent pas ou très peu de NST 9.



Carte 21 : répartition des réceptions NST 9

La population joue un rôle, modéré, dans le calcul du potentiel de réception d'une zone. Globalement, la carte des réceptions est semblable à celle des émissions, car les zones ayant beaucoup d'emplois sont souvent aussi peuplées.

Cependant, l'agglomération de Rouen a ici plus d'importance. Mais les différences ne sont pas toujours faciles à interpréter car un même type d'emplois peut avoir dans notre modèle un effet relatif plus fort en réception qu'en émission (c'est le cas de l'industrie automobile).

Au cours de la démarche des interrogations ont pu apparaître sur la qualité de la désagrégation, notamment concernant les zones d'emplois de Lillebonne et de Rouen. Nous avons donc procédé à une extraction des données brutes de ces deux zones, que nous avons ensuite ré-agrégées, le nombre d'observations étant largement suffisant pour cela. Il apparaît que notre désagrégation se rapproche de la réalité, mise à part pour la NST 6 sur la ZE de Lillebonne où des emplois très spécifiques (carrière, manutention fluviale de gravats) doivent générer beaucoup de flux, sans que notre modèle ne le prenne en compte.

ratio modèle/réalité, pour Yvetot	NST0	NST1	NST6	NST9
	62%	95%	311%	81%

Tableau 17 : comparaison SITRAM/désagrégation de notre modèle, pour la zone d'emplois de Lillebonne, en génération

Le Tableau 17 ci-dessus indique que notre répartition des tonnages entre les sous-zones d'Yvetot et de Lillebonne, au sein de la zone d'emplois de Lillebonne, est très favorable à Yvetot pour les NST 6, et défavorable à Yvetot pour les autres NST.

ratio modèle/réalité, pour la rive gauche	NST0	NST1	NST6	NST9
	85%	62%	86%	84%

Tableau 18 : comparaison SITRAM/désagrégation de notre modèle, pour la zone d'emplois de Rouen, en génération

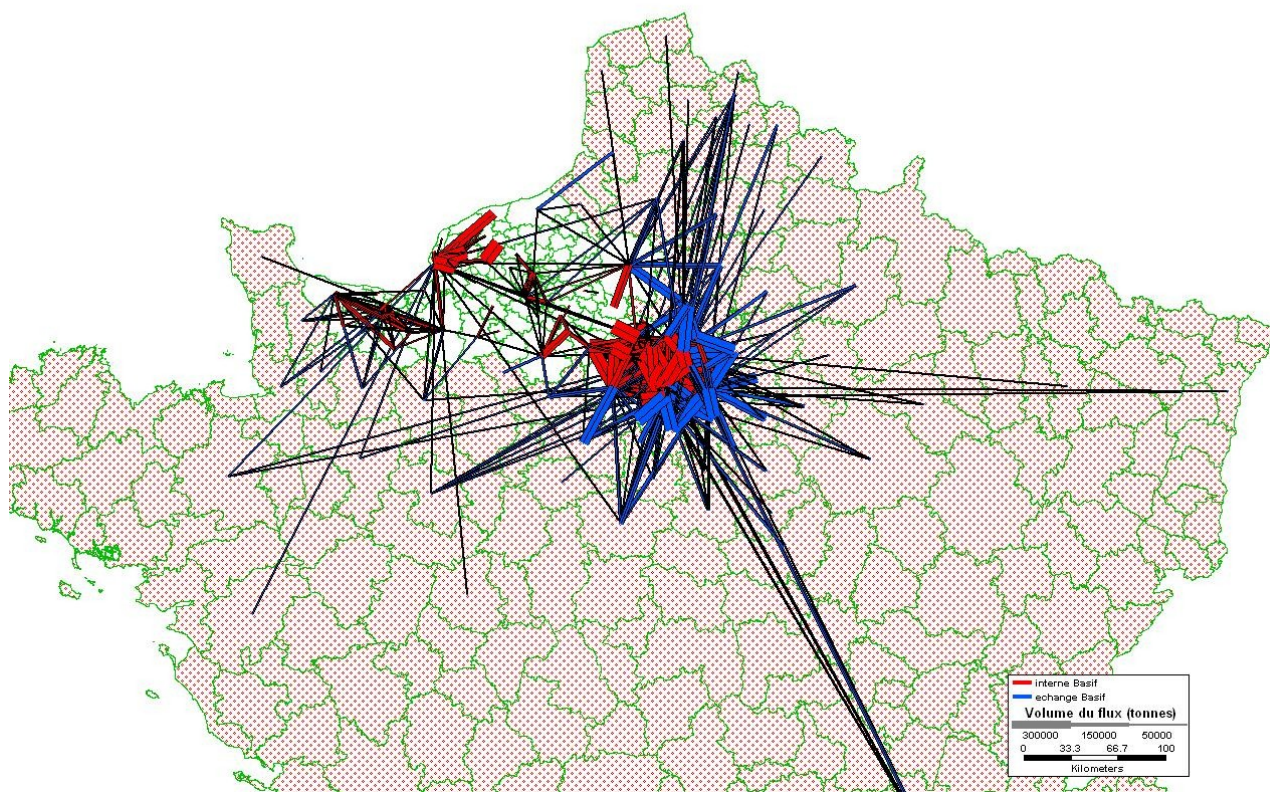
Le Tableau 18 ci-dessus indique que notre répartition des tonnages entre la rive droite et la rive gauche, au sein de la zone d'emplois de Rouen¹⁵, est plus ou moins favorable à la rive droite. Cela peut s'expliquer par la présence de «sièges sociaux» rive droite, qui concentrent les emplois, sans générer de marchandises.

Au final, l'analyse de la désagrégation ne fait pas apparaître de différences fondamentales avec la situation réelle. Dans l'ensemble, le modèle aurait plutôt tendance à favoriser la rive droite du fleuve. Dans la plupart des cas, le rapport modèle-réalité est plutôt bon, et vaut entre 0,8 et 1,25. De nombreuses raisons peuvent expliquer des différences plus marquées pour une NST particulière (présence de chantiers importants, d'une plate-forme logistique spécialisée, d'établissements d'une même entreprise plus ou moins administratifs, commerciaux ou productifs, ...).

15 La commune de Rouen, qui est présente à la fois sur la rive droite et la rive gauche, a ici été comptée dans l'agrégation de la rive droite.

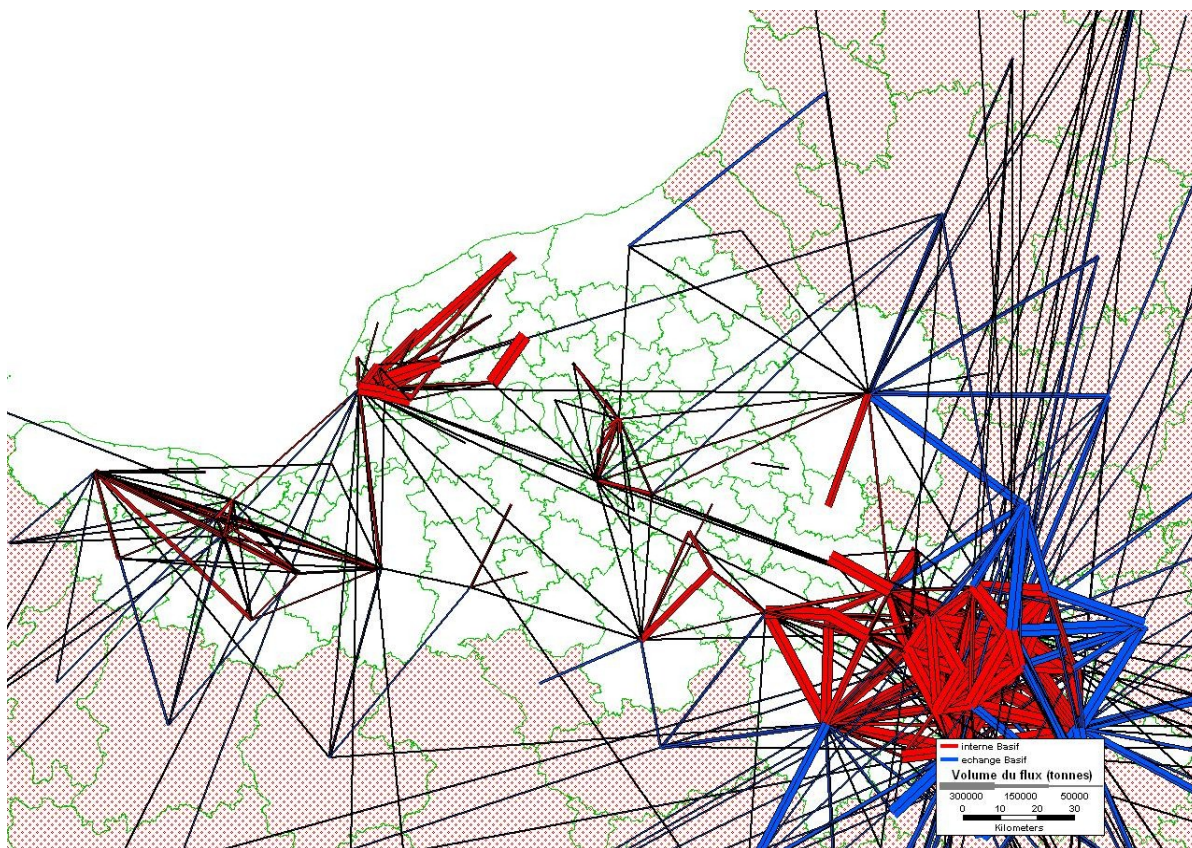
2.4 - Visualisation des résultats de la distribution

On va maintenant considérer le résultat de la distribution désagrégée, et les lignes de désirs, illustrant les flux de plus de 40 000 tonnes provenant de et/ou se dirigeant vers la Baie-de-Seine. Dans les deux cartes suivantes, la taille de ligne représente l'intensité du flux, les lignes rouges représentant les flux internes et les lignes bleues les flux externes.



Carte 22 : lignes de désir – toutes NST

Au niveau national, les principaux flux d'échange avec la région Baie-de-Seine sont en étoile, avec Paris comme centre. La zone du Havre est la seule zone (hors Ile-de-France) qui échange significativement des flux avec l'extérieur de la Baie-de-Seine, se limitant principalement aux zones des régions limitrophes.

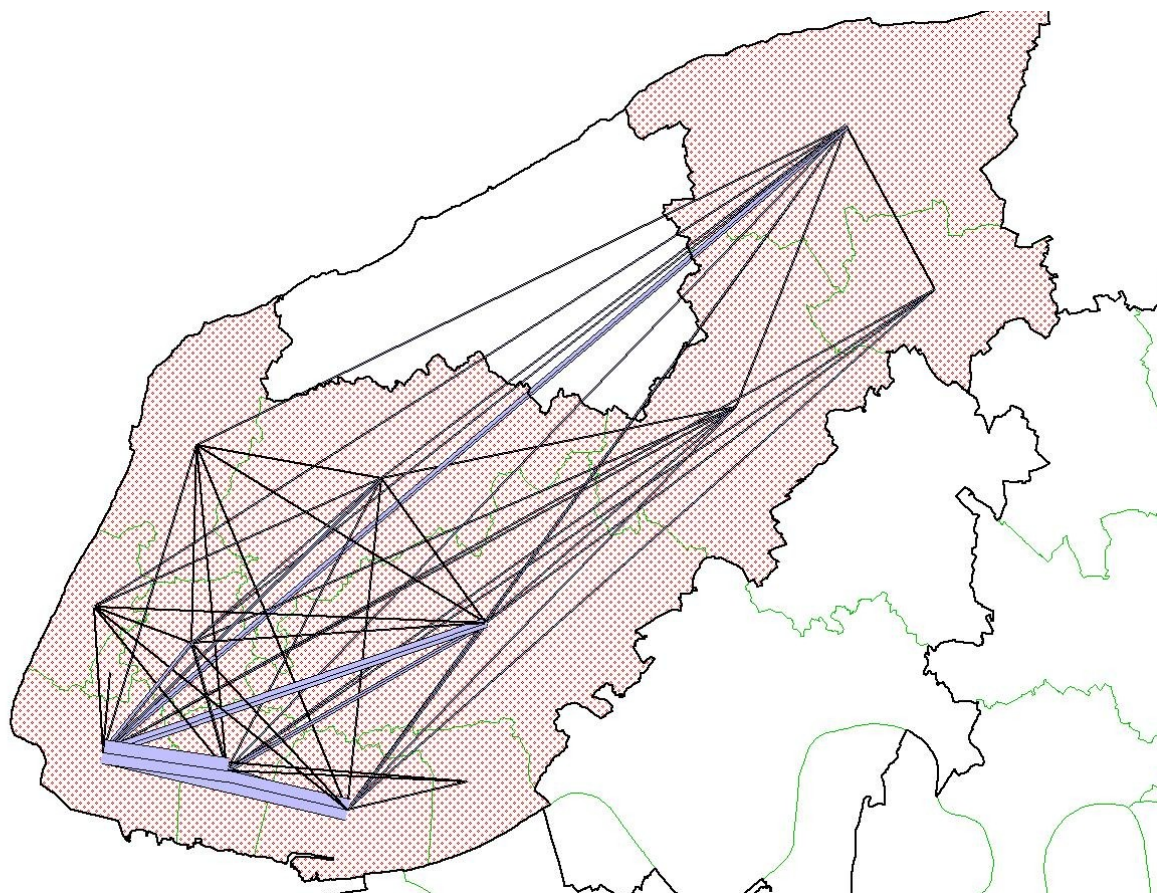


Carte 23 : lignes de désir – toutes NST – zoom sur la Baie-de-Seine

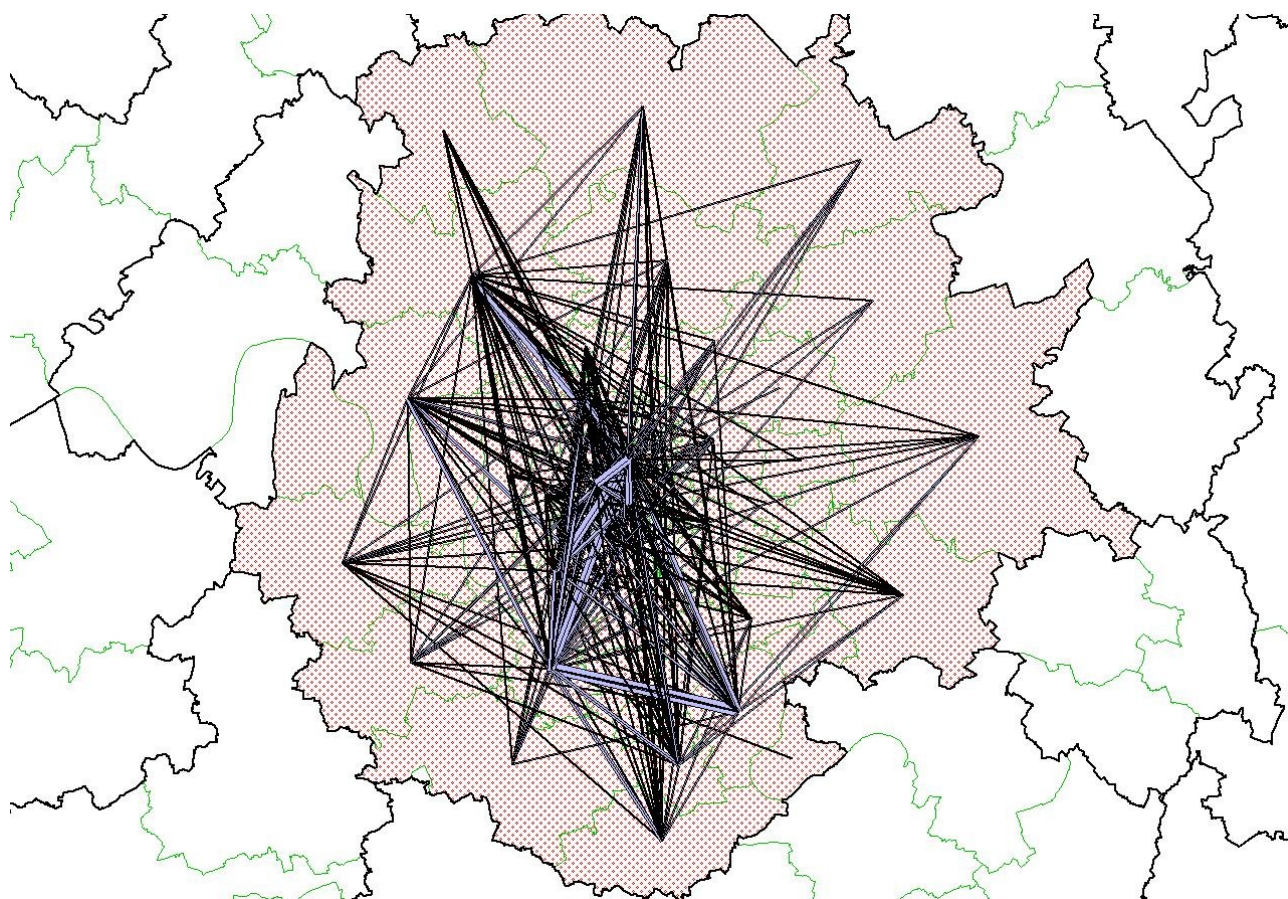
Au niveau de la Baie-de-Seine, l'agglomération Havraise et l'Ile-de-France sont les principaux générateurs de flux de marchandises. On observe des flux en étoile autour des centres des principales agglomérations (Le Havre, Caen, Rouen, Bayeux, Evreux, et Beauvais).

Nous avons également utilisé cet outil pour représenter les flux internes des 3 grandes zones d'emplois (hors région parisienne, moins finement découpée) de la région BASIF : Rouen, Caen et Le Havre. Les flux inférieurs à 2 000 tonnes ont été retirés des cartes pour plus de clarté.

Concernant la zone d'emplois du Havre, on constate que les flux sont principalement internes à la zone industrialo-portuaire. Ensuite, les flux sont en étoile autour du Havre. Les autres flux sont assez faibles.

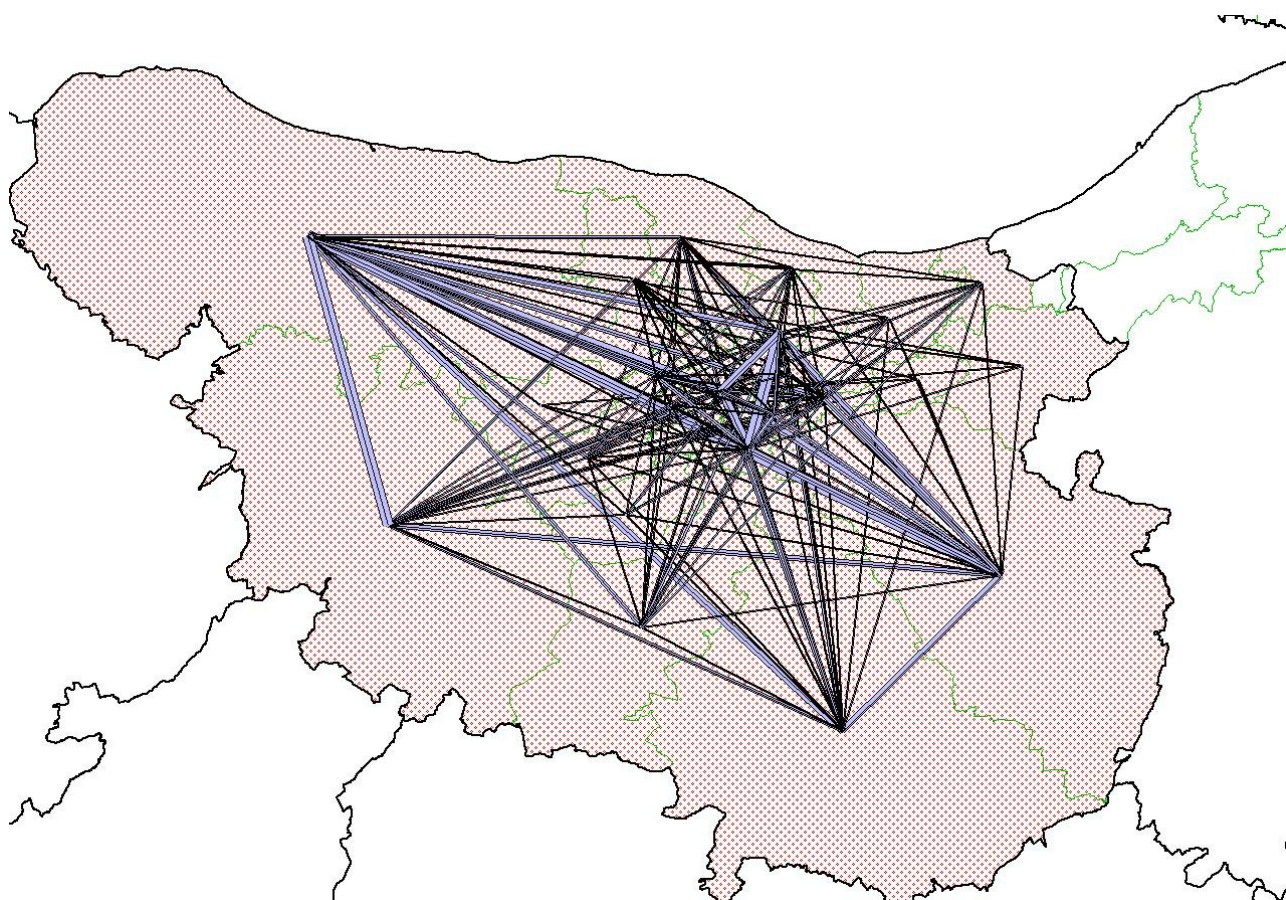


Carte 24 : flux internes à la zone d'emplois du Havre



Carte 25 : flux interne à la zone d'emplois de Rouen

Concernant la zone de Rouen, les flux sont principalement en étoile autour de Rouen. On constate également l'apparition d'un triangle Rouen, Cléon, Tourville.



Carte 26 : flux internes à la zone d'emplois de Caen

Même si cela s'explique en partie par un zonage moins fin, les flux de la zone d'emplois de Caen semblent davantage répartis dans l'ensemble du territoire.

2.5 - Flux intra-zone

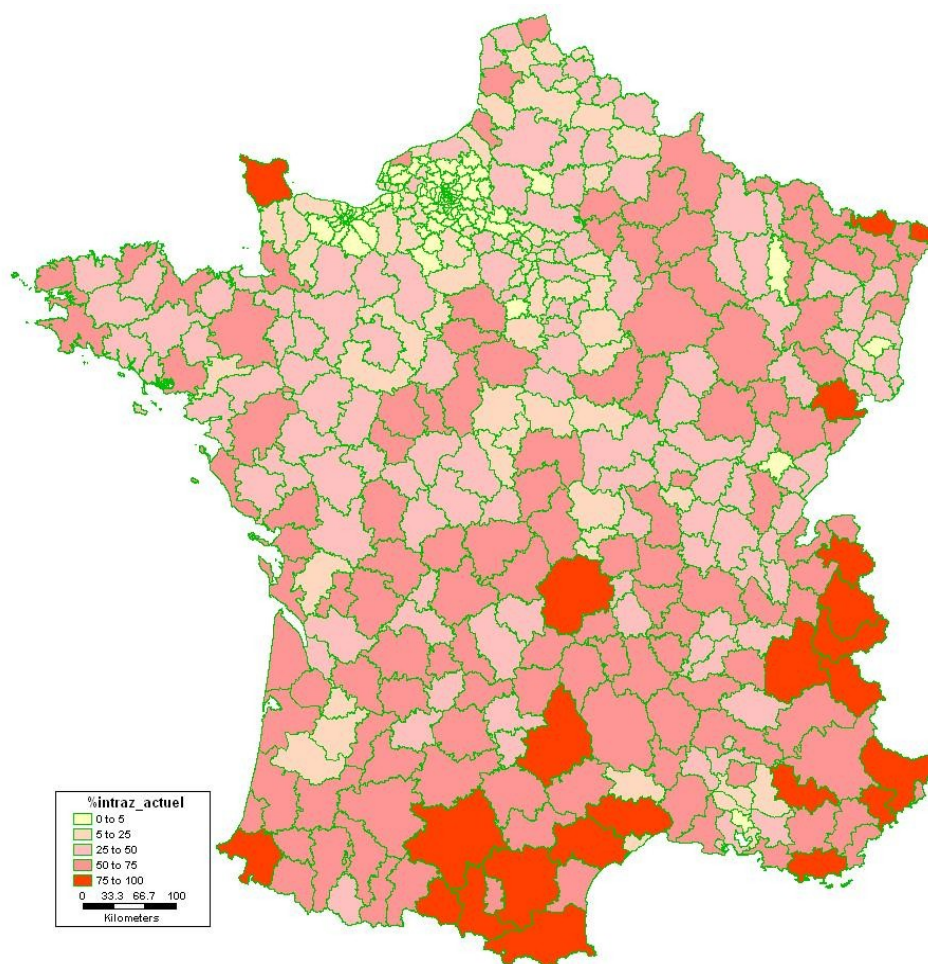
La part du trafic intra-zone est une donnée importante, car le trafic intra-zone ne sera pas affecté. Or, choisir un zonage plus fin permet de diminuer ce trafic intra-zone. Par exemple, si l'on désintègre une zone en 10 sous-zones égales vis-à-vis de la génération de trafic, on obtient un trafic intra-zone d'un ordre de grandeur 10 fois inférieur.

Voici le pourcentage de flux en intra-zone obtenu à l'année de calage (2005) :

classe NST	Modèle zones BASIF	Modèle zones d'emplois hors BASIF	SITRAM 2004-2006 zones d'emplois
0	12 %	39 %	34 %
1	11 %	34 %	31 %
2	10 %	37 %	29 %
3	16 %	41 %	35 %
4	23 %	58 %	58 %
5	10 %	28 %	33 %
6	26 %	70 %	67 %
7	19 %	53 %	48 %
8	12 %	27 %	28 %
9	12 %	31 %	32 %

Tableau 19 : pourcentage de flux intra-zone

On vérifie que les taux de SITRAM sont proches des taux pour les zones d'emplois hors BASIF, ce qui indique que la distribution gravitaire avec redressement sur zonage agrégé a donné des résultats satisfaisants. Les taux obtenus sur les zones BASIF sont beaucoup plus faibles grâce à la finesse du zonage retenu.

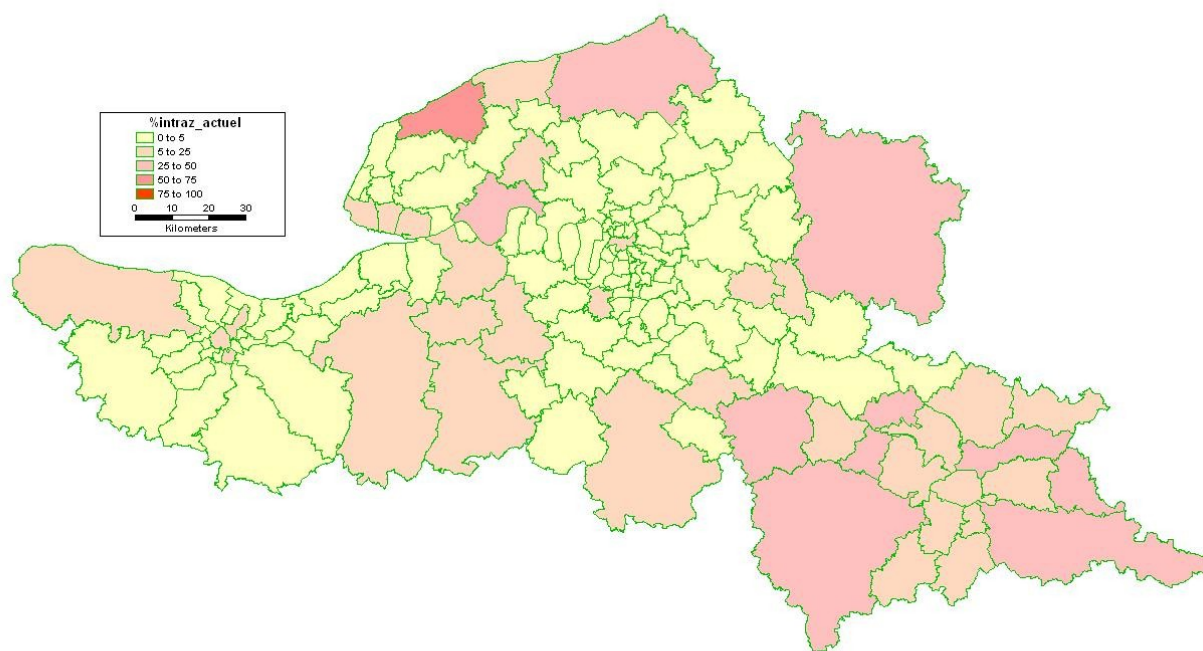


Carte 27 : pourcentage de flux intra-zone – France entière

Les facteurs expliquant un fort taux de trafic interne sont multiples :

- la zone est frontalière (que cette frontière soit terrestre ou maritime ne change ici rien) (ex : Perpignan, Cherbourg, Nice), et le modèle gravitaire ne peut affecter de flux qu'à un nombre restreint de zones voisines, sachant que les flux avec l'étranger ne sont pas pris en compte. Cet effet ne correspond pas ou peu à la réalité dans le cas où cette frontière n'est pas naturelle (Nice va a priori beaucoup commercer avec l'Italie), mais dans le cas de la zone BASIF, ce n'est pas problématique, car les frontières en cause sont naturelles ;
- la zone est de grande taille (ex : zones d'emplois de Champagne), et donc les zones voisines seront plus éloignées, et le modèle gravitaire affectera moins facilement des flux à ces zones ;
- la zone en question émet et reçoit beaucoup plus que ses proches voisines (ex : Toulouse, Clermont-Ferrand, Bordeaux), ce qui la conduit dans le modèle (et largement aussi dans la réalité) à commercer surtout avec elle-même.

Plusieurs effets peuvent se cumuler. Le taux de 72 % de trafic interne pour la ZE toulousaine s'explique par la conjonction de ces trois effets.



Carte 28 : pourcentage de flux intra-zone – zone BASIF

En ce qui concerne la zone BASIF, les taux de trafic interne sont plus modérés. On retrouve les mêmes phénomènes à l'œuvre, mais les taux sont plus faibles, car les ZE ont été re-découpées (la finesse du découpage est toutefois très variable). L'impact sur les trafics peut toutefois être fort à quelques endroits : la région parisienne et les zones de Fécamp, Dieppe et Beauvais présentent des forts taux de trafic intra-zone, ce qui pourrait induire des trafics faibles sur quelques sections. On notera qu'au niveau d'un découpage si fin, l'on ne dispose d'aucune donnée fiable pour caler finement la distribution.

3 - Modèle de véhicules

Le modèle de véhicules est identique au modèle utilisé dans la première version du modèle. Il permet de transformer les tonnes de marchandises par NST en nombre de véhicules (PL). Pour plus de détails, le lecteur est invité à se référer au point 3 - Modèle de véhicules du Chapitre 2.

4 - Affectation

L'affectation des flux PL issus de ce modèle de véhicule n'avait, quant à elle, pas été réalisée à l'issue de la phase précédente. Une affectation PL avait bien été effectuée, mais à partir d'une matrice issue des enquêtes de circulation.

Cette affectation était donc déconnectée des 3 premières étapes, ce qui aurait obligé à l'utilisation de la méthode du pivot pour faire évoluer la matrice actuelle issue des enquêtes, ceci grâce aux évolutions prévues par le modèle en scénario de prospective. D'autre part, la matrice issue des enquêtes comporte beaucoup de vides (OD partiellement ou pas du tout interceptées), ce qui risquait de masquer certains effets prévisibles lors de l'étude des scénarios de prospective.

Un nouveau modèle d'affectation PL a donc ici été mis en œuvre. Nous utilisons ici directement les flux issus de l'étape de la désagrégation de l'étape de distribution, traduits en PL par le modèle de véhicule. On rappelle que les trafics intra-zone ne sont pas affectés.

4.1 - La méthode d'affectation

Précédemment, un modèle d'affectation prix-temps VL/PL avait été utilisé. Cette méthode est parfaitement adaptée à l'étude d'un projet d'infrastructure routière à péage, mais elle est difficile à calibrer et demande un temps de travail important et un réseau très bien décrit.

Or, ici l'objectif n'est pas d'étudier un projet d'infrastructure, mais simplement de visualiser l'impact de nos scénarios d'évolution du territoire en termes de flux de PL, c'est-à-dire que les signes et les ordres de grandeur des évolutions des trafics (en volume) sont suffisants. Nous avons donc choisi d'utiliser un modèle plus simple et donc plus rapide à affecter, tout en permettant une description correcte du comportement réel des usagers. La méthode d'affectation en «tout ou rien» selon le coût généralisé du transport et en distinguant plusieurs classes de valeur du temps (ici 10 classes), permet de répondre à ces exigences. En aucun cas, l'on ne tient compte du trafic VL, mais à notre échelle de travail ce n'est pas problématique.

Le coût généralisé de chaque itinéraire est donné par la formule :

$$CG = (CEV_{PL} + CAR_{PL}) \times Longueur + Péage + VDT_{PL} \times Tps PL$$

Où :

CEV_{PL} = coût kilométrique d'entretien du véhicule en €₂₀₀₀/km

CAR_{PL} = coût kilométrique du carburant en €₂₀₀₀/km

$Péage$ = péage total sur l'itinéraire en €₂₀₀₀ HT

VDT_{PL} = valeur du temps du véhicule (différente selon la classe)

$Tps PL$ = temps de parcours de l'itinéraire

Pour chaque classe de valeur du temps, l'itinéraire le moins cher en coût généralisé sera choisi en totalité. Une segmentation en 10 classes de valeur du temps a été choisie.

4.2 - Le réseau utilisé

Nous avons utilisé le réseau 30 000 arcs, pour la France entière. Les coûts kilométriques du carburant et de l'entretien du véhicule sont lus dans la table de typologie SETRA VDF (version d'octobre 2008). Les valeurs des péages ont dû être corrigées et rentrées par arc, le réseau de la Baie-de-Seine ayant la particularité de comporter de nombreux péages ouverts.

4.3 - Calage du modèle sur les flux PLJA 2005

Le calage du modèle s'est effectué en plusieurs étapes :

1. Recherche de la distribution des valeurs du temps permettant d'approcher au mieux la répartition des trafics entre itinéraires lorsque l'on affecte les trafics PL à partir des temps à vide de la table SETRA VDF. La distribution retenue est une distribution log normale de moyenne 60 et d'écart-type 0,5. Cette distribution a ainsi été approchée à l'aide de 10 classes de valeur du temps, chacune représentant 10 % du volume PL de l'OD :

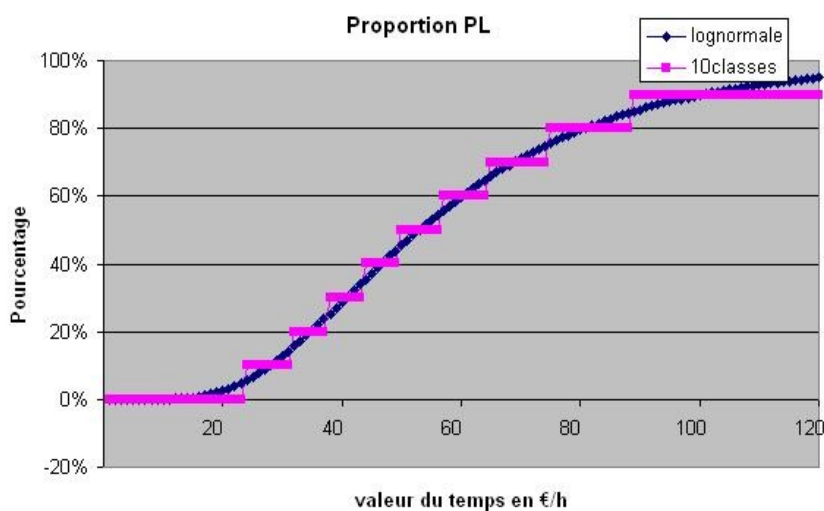


Illustration 2 : Distribution de la valeur du temps

% population	5 %	15 %	25 %	35 %	45 %	55 %	65 %	75 %	85 %	95 %
VdT (€/h)	23,3	31,5	37,8	43,7	49,7	56,4	64,2	74,2	88,9	120,5

Tableau 20 : Classes de valeur du temps au sein de la population

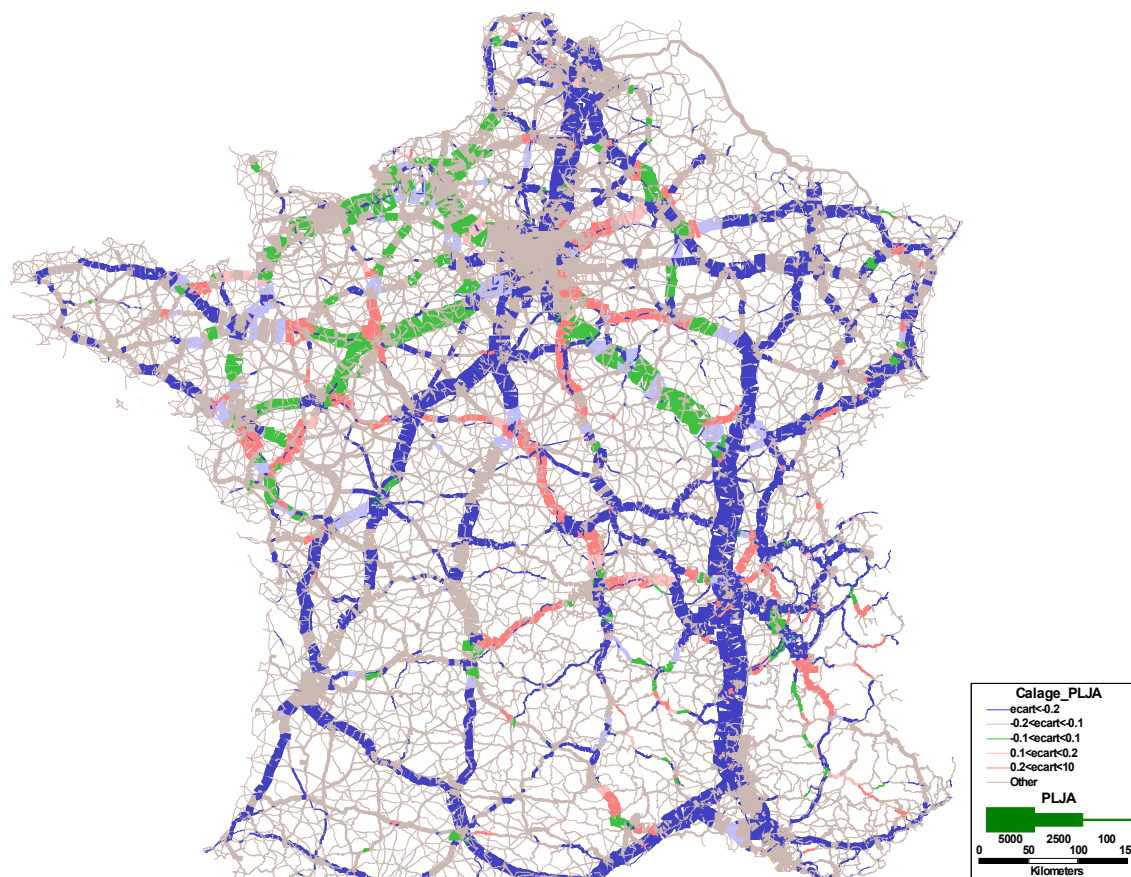
2. Correction des temps kilométriques par type d'arc permettant d'améliorer le calage des volumes et de la répartition des trafics entre itinéraires au sein du corridor Baie-de-Seine/Ile-de-France. Les valeurs obtenues sont les suivantes :

Type d'arc	Vitesses PL		
		2x4 voies (autoroute non concédée)	90
5m	40	2x2 voies (voie rapide urbaine)	60
6m	45	2x3 voies (voie rapide urbaine)	60
7m	50	2x4 voies (voie rapide urbaine)	60
3 voies/9m	60	Urbain petite agglomération	20
3 voies/10.5m	60	2 voies normales	40
4 voies/14m	60	2 voies rapides	20
2x2 voies (carrefour plan)	80	3 voies normales	20
2x2 voies (autoroute concédée)	90	3 voies rapides	40
2x3 voies (autoroute concédée)	90	4 voies normales	20
2x4 voies (autoroute concédée)	90	4 voies rapides	40
2x2 voies (route express)	80	2 voies larges	20
7m (route express)	80	6 voies normales	20
2x2 voies (carrefour giratoire)	80	6 voies rapides	40
2x2 voies (o non concédée)	90	Connecteur	30
2x3 voies (autoroute non concédée)	90	Rq : en Ile-de-France, toutes ces vitesses ont été pénalisées de 30 %	
Type d'arc	Vitesses PL		

Tableau 21 : vitesse des PL en fonction du type d'arc

3. Correction ponctuelle des temps de parcours sur certains arcs pour améliorer le calage.

Les résultats obtenus sont les suivants :



Carte 29 : calage des trafics – France entière

Nous obtenons de meilleurs résultats en Baie-de-Seine (phénomène observé dès les premières affectations), pour deux raisons :

- quasi-absence de trafic de transit, contrairement aux grands axes autoroutiers français (Rhin-Rhône, liaisons vers l'Espagne) ;
- plus le zonage est fin, moins la part de trafic intra-zone non prise en compte est importante, et plus le trafic affecté se rapprochera des comptages.

Sur le reste de la France, et notamment les grandes autoroutes Nord-Sud, le manque de trafic est dû, dans la majorité des cas au fait que le modèle ne prend en compte que les flux internes français.

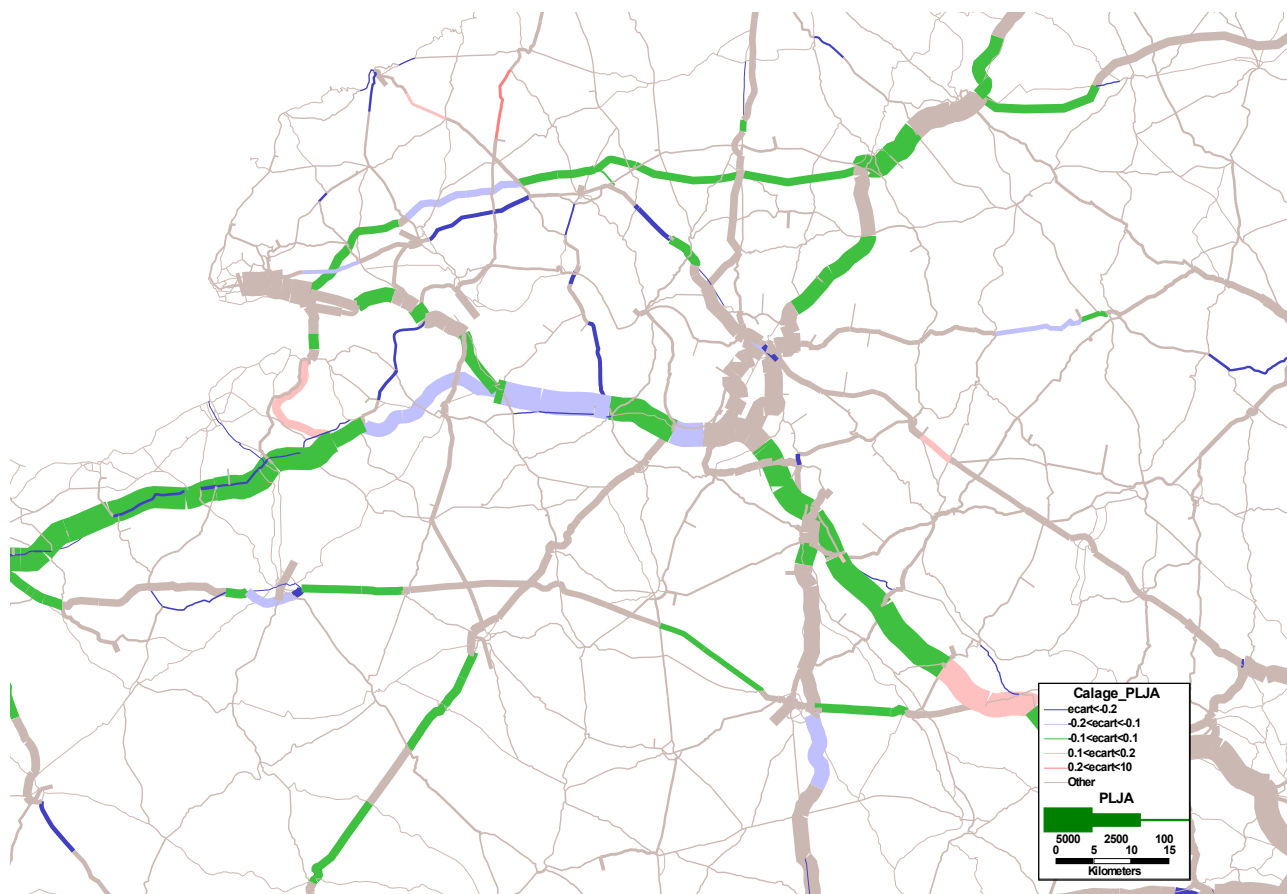
L'objectif recherché était donc de caler l'affectation sur le trafic en Baie-de-Seine.

Les problèmes rencontrés, et résolus, ont été les suivants :

- passage par les agglomérations : pour les liaisons Nord-Ouest, les PL empruntaient les autoroutes ou voies rapides franciliennes, puis le centre-ville de Rouen, et non par l'A29 et le pont de Normandie. La solution a été de pénaliser les voies rapides urbaines à Paris et à Rouen ainsi que les ponts à Rouen ;
- divers petits segments : un court segment de nationale moins cher et aussi rapide sera emprunté par l'ensemble des PL, alors qu'en réalité cet arbitrage n'intervient pas si le gain généralisé est minime par rapport à l'ensemble du transporteur. La solution a été de pénaliser ces sections ;
- concurrences A29/RD61015 et A13/RD613 : pénalisation de certains segments, en particulier lorsque les traversées d'agglomération n'étaient pas bien renseignées ;
- problèmes de répartition des trafics en entrée d'agglomération : introduction d'interdictions de transit, notamment à Rouen, et sur la RD675 dans le Calvados (l'interdiction sur la RD6015 à Yvetot (2009) n'a pas été prise en compte, car le modèle a été calé sur les trafics 2005).

- trafic insuffisant autour des agglomérations de Fécamp et Cherbourg. La solution a été de déformer la matrice au niveau de ces zones grâce à des facteurs correctifs (qui ont été estimés en effectuant le rapport entre les flux affectés et les comptages sur les coupures autour de ces agglomérations). La correction sera maintenue à l'horizon 2025, ce qui signifie que l'on effectuera un pivot autour de cette matrice actuelle corrigée.

Les résultats obtenus pour la Baie-de-Seine sont les suivants :



Carte 30 : calage des trafics – corridor Baie-de-Seine Ile-de-France

La majorité des segments est calée avec une erreur inférieure à 10 %. On observe néanmoins :

- quelques manques de trafic local sur certains arcs, probablement dus à la finesse du zonage qui est encore légèrement insuffisante ;
- le trafic PL est globalement insuffisant en traversée de Seine à Rouen ainsi que sur le pont de Brotonne. Il a été vérifié (voir point 2.3 - Désagrégation de la distribution page 50) que l'éclatement des flux au sein de la zone d'emplois de Rouen et de Lillebonne était approximatif, mais que ce facteur ne semble pas en cause. Néanmoins, le fait que la zone fine de Rouen englobe les deux rives peut expliquer en partie ce manque de trafic.

Le calage reste cependant satisfaisant pour la majorité des axes structurants de notre secteur. De plus, les ordres de grandeur des trafics affectés sur les voiries locales sont corrects, ce qui nous permet bien de nous reposer sur ce modèle pour analyser les scénarios de prospective.

Pour le calage du modèle en termes de choix d'itinéraires, le calage est insuffisant si l'on regarde précisément les flux centre à centre (du fait de l'utilisation d'un modèle tout ou rien), mais il reste tout à fait correct pour les flux agglomération à agglomération, comme le montre le tableau suivant :

OD	axe	valeur enquete	part enquete	part modele
Agglo LH - Agglo Rouen	D6015	117	10%	10%
	Brotonne	30	3%	0%
	D982	136	12%	2%
	Tancarville	605	54%	74%
	A29	234	21%	13%
Agglo Caen- Agglo Rouen	Beuzeville	406	95%	97%
	N138	23	5%	3%
	A28	0	0%	0%
Agglo Rouen Elbeuf - IDF	N15	0	0%	0%
	N14	189	36%	31%
	A13	333	63%	69%
	N154	9	2%	0%
Agglo Caen - Agglo LH	Normandie	391	86%	100%
	Tancarville	62	14%	0%
LH - Paris	N15	0	0%	0%
	N14	0	0%	0%
	A28	0	0%	0%
	A13	611	100%	100%
Agglo Caen - IDF	N13	82	44%	39%
	A10	0	0%	0%
	N12	0	0%	0%
	A13	106	56%	61%
Bretagne - IDF	A10	458	77%	63%
	N12	134	22%	33%
	A13	4	1%	4%

Tableau 22 : résultats du calage

5 - Récapitulatif des évolutions apportées au modèle, par rapport à MoNaPL

Par rapport à MoNaPL, les évolutions suivantes ont été apportées :

Dans la version 1 du modèle :

- re-calcul des paramètres de générations et prise en compte de nouveaux facteurs (emplois agricoles, emplois logistiques,...) ;
- génération et distribution sur les zones d'emplois ;
- réévaluation des paramètres de la distribution et utilisation d'une formule en puissance inverse.

Dans la seconde version du modèle :

- distribution selon le coût généralisé et non plus la seule distance ;
- correction de la distribution sur un zonage agrégé et analyse des facteurs de correction ainsi déterminés ;
- prise en compte de la non-fiabilité de SITRAM pour certaines NST sur les zonages considérés ;
- désagrégation statistique de la distribution sur un zonage très fin, à l'échelle de la Baie-de-Seine, et analyse des résultats obtenus ;
- affectation par un modèle «tout ou rien», avec 10 classes de valeur du temps ;
- calage du modèle d'affectation sur la zone Baie-de-Seine.

Chapitre 4

La modélisation en prospective

1 - Démarche prospective

Parallèlement à la construction du modèle BASIF, une démarche de prospective territoriale¹⁶ menée sur ce même territoire en 2007-2008 a amené à définir quatre scénarios de conjoncture à l'horizon 2025 qui ont été quantifiés et territorialisés :

- S1 : Grenelle + + : une politique environnementale volontariste ;
- S2 : Récession économique : la croissance des transports comme moteur de la relance ;
- S3 : Peak Oil : l'urgence écologique s'accompagne d'une mutation des comportements ;
- S4 : Le pari technologique : la confiance dans l'innovation technologique pour résoudre les conflits.

Au niveau de la prospective, la différence avec la phase précédente s'exerce principalement en génération : il s'agit maintenant d'utiliser des hypothèses d'évolution du tissu économique et démographique, pour évaluer les tonnages résultants. Contrairement à la situation de l'étape précédente, on ne dispose pas de données réelles pour caler les résultats. On utilise donc le redressement actuel.

L'enjeu est de traduire des scénarios de prospective en évolutions quantifiées de l'emploi. Il est primordial d'avoir des évolutions différenciées selon les scénarios, et des évolutions par rapport à la situation actuelle "réalistes", c'est-à-dire ne divergeant pas trop par rapport à la tendance actuelle. En effet, la prospective se fait ici à un horizon relativement proche (une quinzaine d'années), et l'on admet que l'inertie en termes de lieu de résidence ou de tissu industriel est forte. De plus, le fait d'étudier un modèle mono-modal, basé sur l'hypothèse de prépondérance du mode routier, n'a de sens que si l'on considère que la répartition modale route - autres modes de transport reste largement favorable à la route. Enfin, comme tout modèle fonctionnant sur des analyses tendanciennes, celui développé ici ne reste pertinent que pour étudier des modifications relativement mineures : un bouleversement des localisations des emplois et des activités ou de la productivité industrielle imposerait probablement de remettre en cause ce postulat.

2 - Génération

2.1 - Données de base utilisées

Principe : on utilise le modèle de génération pour déterminer l'évolution des tonnages des marchandises produites et consommées par chaque zone, en partant des données SITRAM 2004-2006, des données d'emploi 2005 de l'INSEE (base CLAP) et des coefficients de génération déterminés à la phase précédente.

Pour déterminer l'évolution des tonnages émis et reçus, on a besoin d'évaluer, à l'horizon 2025 :

- l'évolution particulière en termes de nombre d'habitants de chaque zone, pour chaque scénario ;
- l'évolution particulière en termes de nombre d'emplois de chaque zone, pour chaque scénario ;
- la tendance nationale d'évolution en termes de population et d'emploi ;
- la tendance nationale d'évolution en termes de tonnage produit par emploi.

2.1.1 -Hypothèses d'évolution de la population

On utilise le travail réalisé par le bureau d'études en charge de la démarche prospective, qui a travaillé à la commune, les résultats ayant été ensuite agrégés à la zone BASIF.

16 Voir plaquette «prospective de la mobilité en Baie-de-Seine à l'horizon 2025 - 4 scénarios exploratoires» pour plus de détails sur ces scénarios de prospective.

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
Démographie, urbanisme	Communes desservies par le fer : +20 % Urbain : +10 %	Péri-urbain : +10 % Péri-Urbain + autoroute : +20 % multipolarisé : 10 % Littoral : +20 % Vallée de Seine : +10 %	Urbain : +10 %	Péri-urbain : +10 % Autoroute (hors urbain) : +20 % multipolarisé : +10 % Rural : +10 %

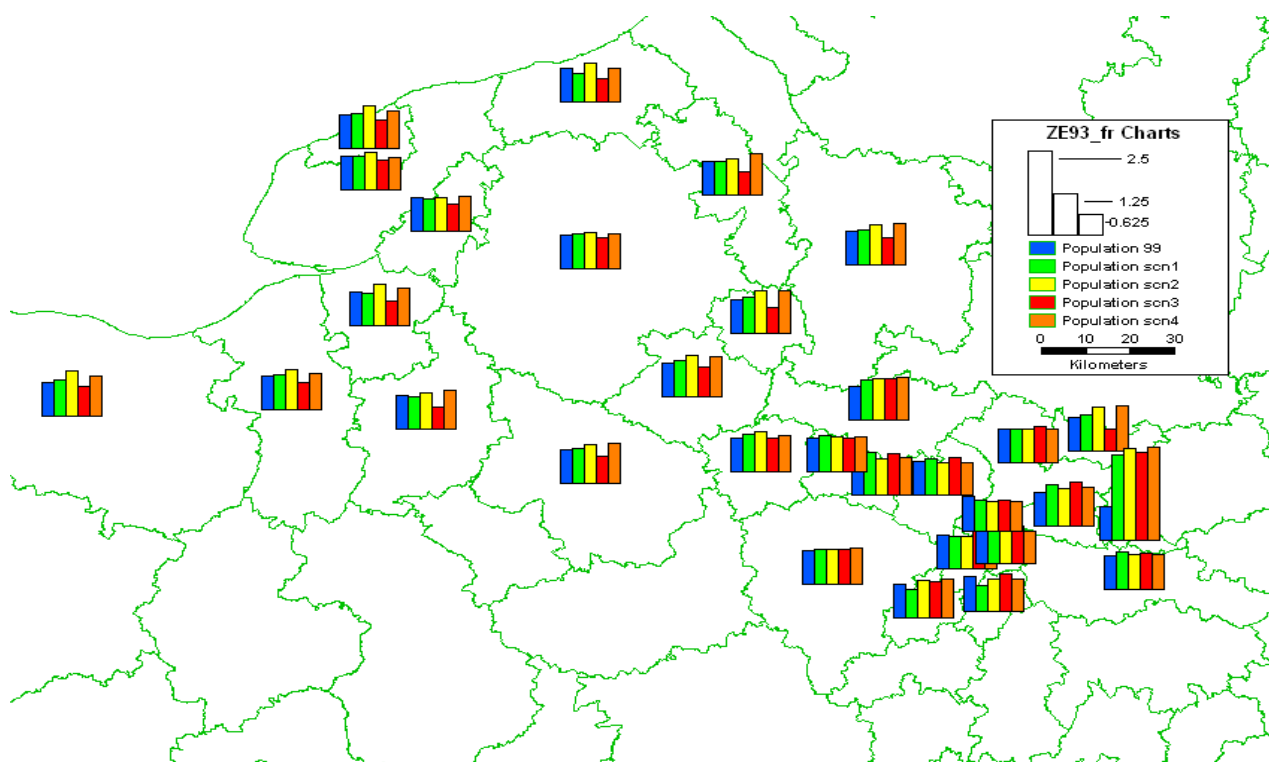
Tableau 23 : hypothèses d'évolution de la population des zones selon les scénarios

Ces coefficients sont à ajouter par rapport à la tendance de chaque sous-zone définie par l'INSEE, concernant les zones BASIF uniquement (pour le reste de la France, il n'y a pas d'hypothèse d'évolution à la commune).

Il est à noter que le bureau d'études a pris l'hypothèse que la population totale en Baie-de-Seine était constante (suivant la tendance) quel que soit le scénario, ce qui implique que seule la répartition de la population au sein du territoire est modifiée. Un «redressement» final a donc été effectué par le bureau d'études.

L'impact sur la génération de marchandises est double, un impact direct, car la quantité réceptionnée de certaines marchandises dépend dans notre modèle de la population, et un impact indirect, à travers l'évolution des emplois, que l'on va détailler dans le paragraphe suivant.

Voici l'évolution de la population selon le scénario, pour les zones d'emplois du territoire de la Baie-de-Seine :



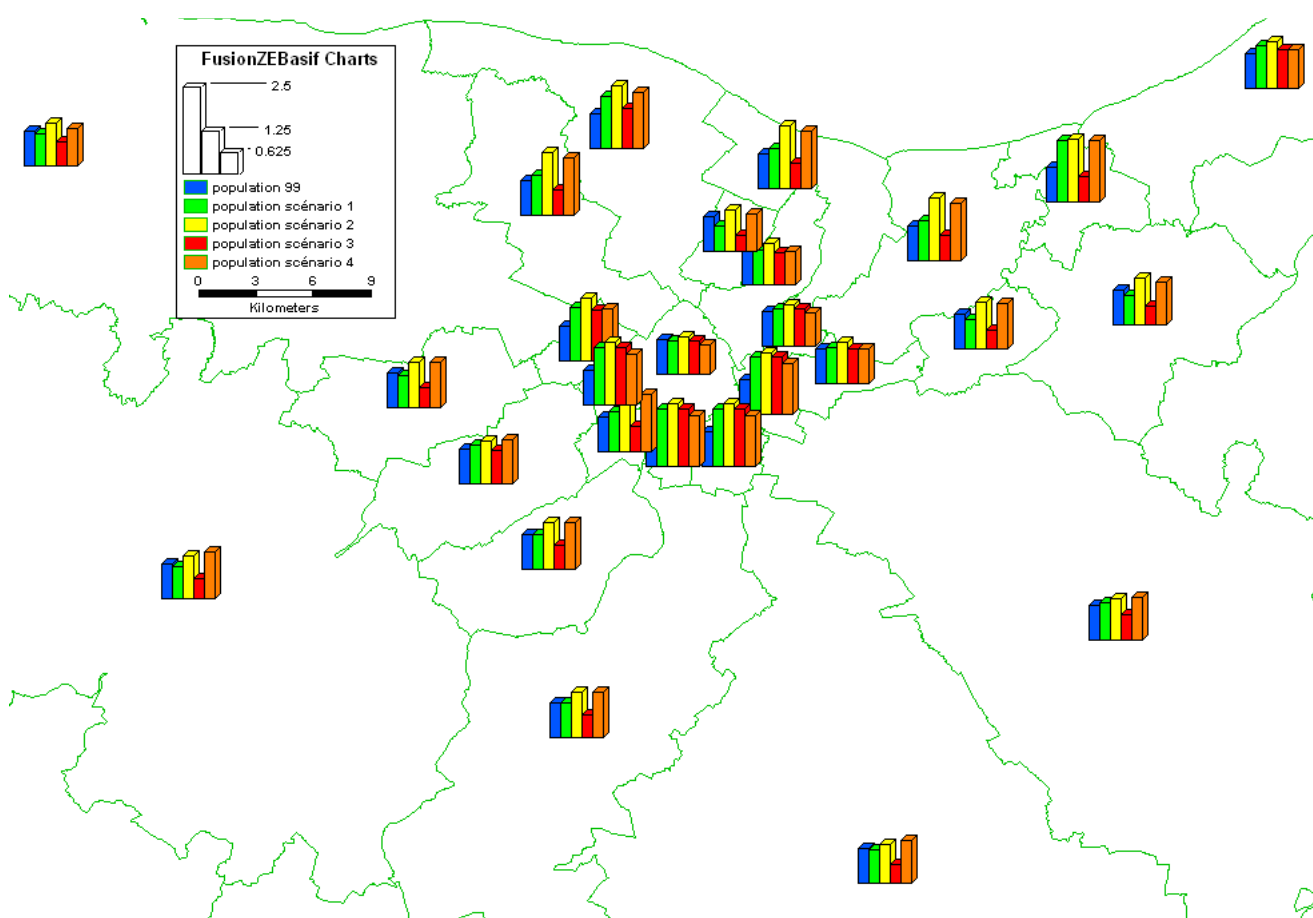
Carte 31 : population par zone d'emplois selon le scénario

Au niveau de la zone d'emplois, les effets des hypothèses sont lissés mais restent visibles, avec davantage de population sur le littoral dans le scénario 2, un scénario 4 qui induit une croissance démographique généralisée et répartie sur tout le territoire hors l'Ile-de-France, et un scénario 1 qui favorise les communes urbaines et desservies par le fer, ce qui se traduit par une baisse de la population dans les zones d'emplois où la population réside davantage en milieu rural (Honfleur, Dieppe, ...) ou dépourvues de gares.

C'est pour le scénario 3 que les contrastes sont les plus importants, avec des croissances assez fortes de population en Ile-de-France (et à Paris en particulier), et une stagnation voire une baisse partout ailleurs : du fait de l'hypothèse sur la croissance de la population en milieu urbain, l'Ile-de-France, et en particulier Paris, voit sa population croître, et la population étant constante en Baie-de-Seine, cela engendre une baisse de la population sur le reste du territoire (péri-urbain ou rural) après «redressement». Dans les autres scénarios où la population croît en milieu urbain (et donc en Ile-de-France), elle croît aussi en milieu péri-urbain ou en milieu rural (scénarios 2) ou alors elle croît encore davantage dans les zones desservies par le fer (scénario 1), ce qui a tendance à favoriser la Baie-de-Seine au dépend de l'Ile-de-France (les gares sont localisées sur Paris, car les gares RER n'ont pas été prises en compte), donc le redressement final n'induit pas ce phénomène de vide des zones péri-urbaines et rurales en Baie-de-Seine.

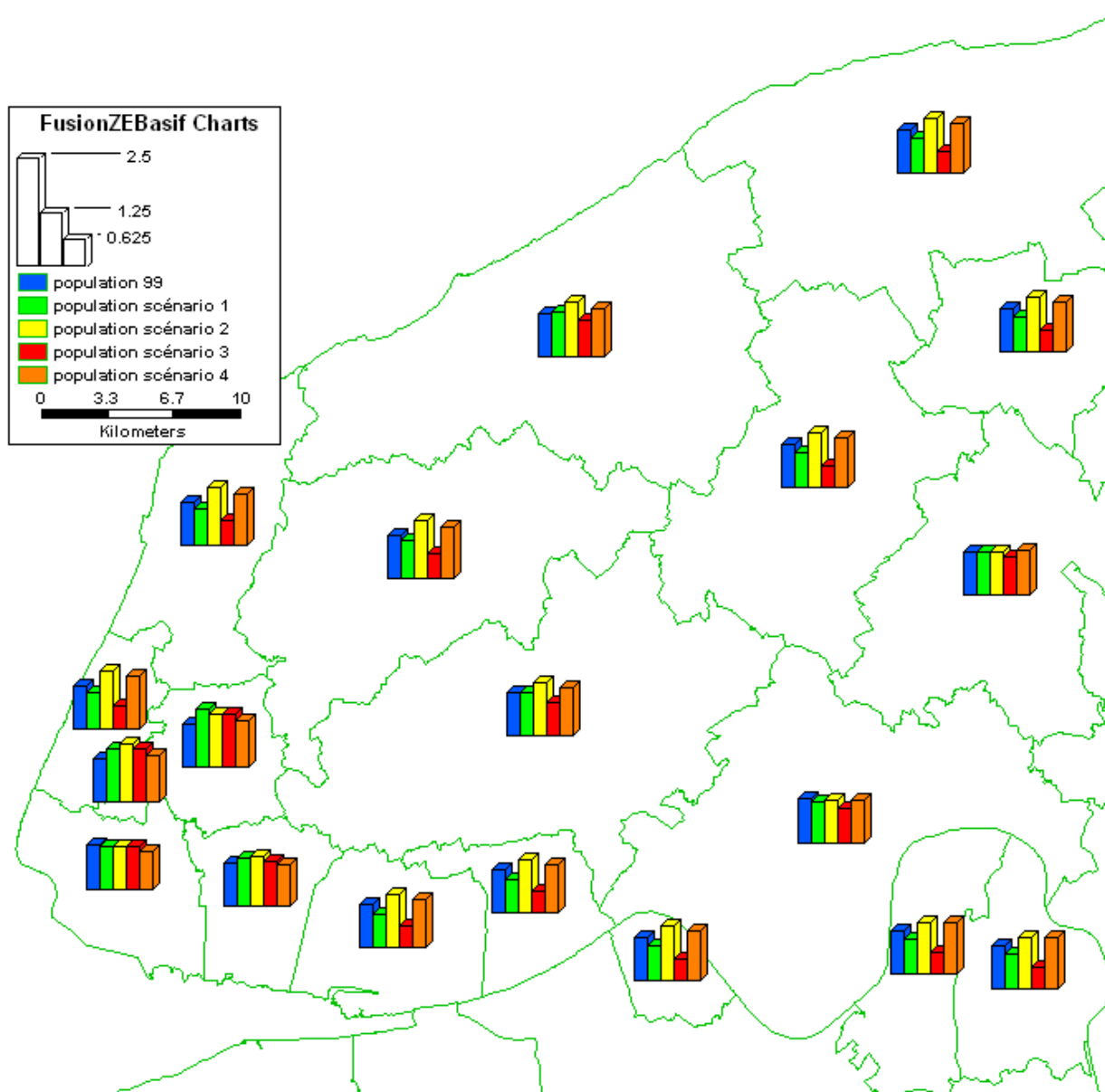
On rappelle que l'on se base ici par rapport à l'évolution tendancielle de la population, ce qui explique certaines évolutions (hausse très forte de la population à Lagny-sur-Marne mais sur un volume de départ faible, baisse à Paris même, ...).

Procédons à un zoom pour les régions de Caen, Le Havre, Paris et Rouen à l'échelle de la zone fine.



Carte 32 : population par zone BASIF selon le scénario : zoom sur Caen

Concernant la région de Caen, on constate que les différences sont extrêmement fortes en matière de population (parfois d'un facteur supérieur à 2), concernant toutefois des zones peu peuplées. Dans le scénario 3, notamment, la population s'effondre dans les zones non-urbaines (on a vu précédemment que c'était induit par la hausse de la population en région parisienne). Dans les zones les plus urbaines, les différences sont par contre peu marquées. On observe que la Côte bénéficie du scénario 2, notamment pour les communes ne bénéficiant pas d'accès ferroviaire.

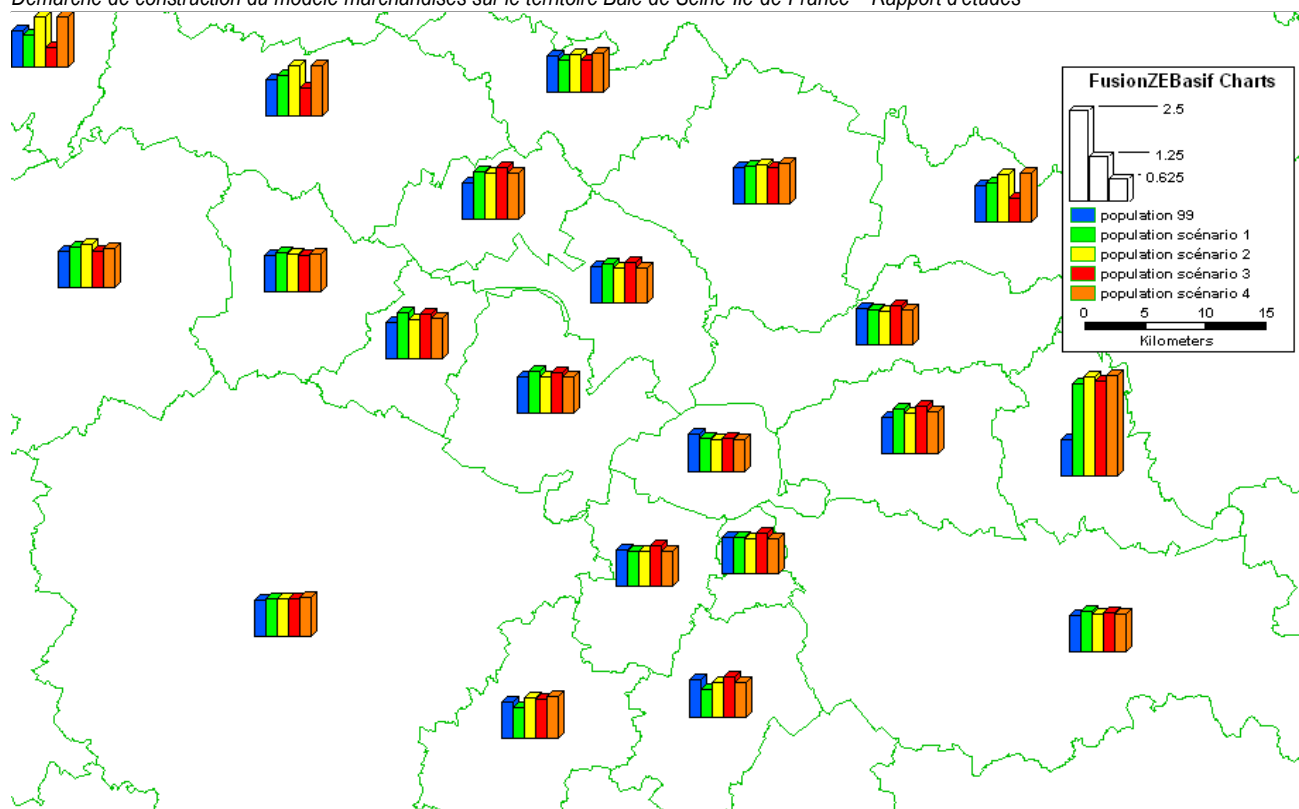


Carte 33 : population par zone BASIF selon le scénario : zoom sur Le Havre

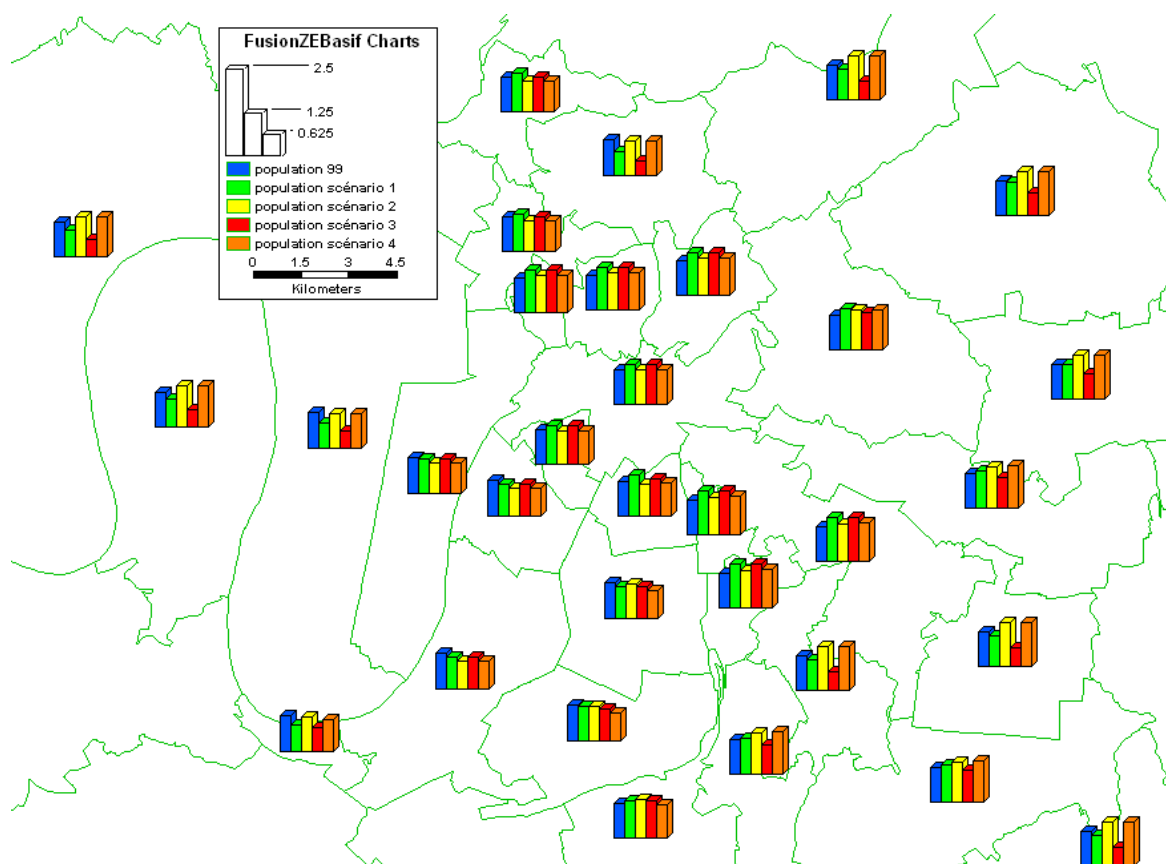
Concernant la région du Havre, on observe les mêmes tendances. On constate souvent des hausses importantes dans le scénario 2, liées au fait que les communes soient multi-polarisées, liées à l'autoroute, sur le littoral, ...

Concernant la région parisienne (Carte 34), les différences sont moins marquées, car les zones sont beaucoup plus peuplées. L'ensemble des hausses du scénario 3 sont situées en région parisienne, même si cela reste peu visible, du fait de la représentation en pourcentage.

Concernant Rouen (Carte 35), les mêmes tendances sont à l'œuvre.



Carte 34 : population par zone BASIF selon le scénario : zoom sur Paris



Carte 35 : population par zone BASIF selon le scénario : zoom sur Le Havre

2.1.2 -Hypothèses d'évolution de l'emploi

L'évolution locale de l'emploi dépend ici de deux paramètres :

- les hypothèses d'évolution de la population ;
- les hypothèses d'évolution des emplois.
- Seul le second paramètre influe sur le niveau global d'emploi par secteur d'activité.

Impact de l'évolution de la population

L'évolution de l'emploi est supposée suivre l'évolution de la population : si une zone gagne 10 % de population, elle gagnera aussi 10 % d'emplois industriels, cela pour tenir compte des phénomènes de déclin et de croissance de certaines zones.

Ne pas le faire aboutirait à considérer que les personnes déménageraient mais continueraient à travailler dans leur ancienne zone d'habitation. En pratique, c'est plutôt la population qui suit les emplois et non l'inverse. En faisant cela, on ne rend pas bien compte des phénomènes d'étalement urbain vers la campagne qui ne sont pas forcément suivis d'étalement des emplois (bien que les entreprises aient tendance elles-aussi à s'éloigner des centres-villes, en bonne partie pour les mêmes raisons de prix de foncier que les habitants), mais cela ne va influencer qu'à la marge puisque ces zones n'accueillent de toute façon aujourd'hui que peu d'emplois : 10 % d'augmentation sur un nombre de départ très faible ou nul influera peu sur la répartition territoriale de la génération des marchandises. Par contre, ce paramètre aura beaucoup d'importance pour les villes et leurs proches périphéries.

Hypothèse d'évolution des emplois

Ici, nous nous basons aussi sur le travail du bureau d'études, qui a formulé des hypothèses générales sur l'évolution de l'emploi de grands secteurs économiques (emplois de l'industrie, de l'agro-alimentaire, du transport, ...).

Nous avons calculé les emplois pour chaque zone à partir des hypothèses générales définies par le bureau d'études.

Pour ce faire, il a été choisi :

- de prendre en compte uniquement les résultats de population provenant d'une étude fine à la commune ;
- de recalculer les données d'emplois par zone, en fonction :
 - de l'évolution nationale du nombre d'emplois ;
 - des paramètres de génération définis (mais apparemment non respectés) par le bureau d'études.

Évolution des emplois par rapport au scénario tendanciel	Scénario 1 : baisse de l'industrie classique au profit de l'agro-alimentaire, montée des ports	Scénario 2 : repli général	Scénario 3 : re-localisation de certaines activités	Scénario 4 : re-localisation de certaines activités, hausse du transport
Emplois de l'industrie agro-alimentaire	+30 %	-10 %	+20 %	+5 %
Emplois des autres industries	-20 %, sauf : Le Havre : +30 % Rouen : +10 %	-10 %	+5 %, sauf Le Havre : +10 %	+5 %
Emplois du transport et de la logistique	Inchangé, sauf : Le Havre : +30 % Rouen : +10 %	inchangé	Inchangé sauf Le Havre : +10 %	+20 %

Tableau 24 : hypothèses d'évolution des emplois selon les scénarios

Attention, les taux considérés sont à comprendre "par rapport à l'évolution tendancielle des emplois". De plus, chaque zone a sa dynamique tendancielle propre : les emplois n'évoluent pas de la même façon partout sur le territoire. On a considéré que les emplois agricoles variaient de la même façon que l'industrie agro-alimentaire, même si ce n'est pas explicite dans le scénario de départ. On différencie les emplois de l'industrie classique, les emplois de l'industrie agro-alimentaire, et les emplois liés au transport. Certaines zones urbaines bénéficient de paramètres particuliers, dans certains scénarios, liés à leur positionnement industrialo-portuaire : l'activité se déplacerait à proximité des ports fluvio-maritimes, pour profiter des possibilités multi-modales de transport offertes. C'est pourquoi l'ensemble des zones d'emplois du Havre et de Rouen n'a pas bénéficié de ces taux particuliers, mais seulement certaines sous-zones.

Nous n'avons pas cherché à ajuster le nombre d'emplois, car les emplois liés aux services n'interviennent pas dans la génération de marchandises, selon notre modèle.

2.1.3 -La tendance nationale d'évolution des emplois de chaque type

Ces données nous ont été fournies par le CGDD¹⁷.

NES 36	Activités économiques	TCAM de l'emploi en %	Ratio emplois 2025/emplois 2006
A0	Agriculture, sylviculture, pêche	-2,08	0,60
B0	Industries agricoles et alimentaires	-0,46	0,91
C1	Habillement et cuir	-1,65	0,69
C2	Edition, imprimerie, reproduction	-1,88	0,64
C3	Pharmacie, parfumerie, entretien	-1,45	0,73
C4	Industries des équipements du foyer	-0,71	0,87
D0	Industrie automobile	-1,42	0,73
E1	Construction navale, aéronautique et ferroviaire	-1,42	0,73
E2	Industrie des équipements mécaniques	-1,30	0,75
E3	Industrie des équipements électriques et électroniques	-1,57	0,70
F1	Industrie des produit minéraux	-2,23	0,58
F2	Industrie textile	-2,94	0,44
F3	Industrie du bois et du papier	-1,59	0,70
F4	Chimie, caoutchouc, plastiques	-0,95	0,82
F5	Métallurgie et transformation des métaux	-0,90	0,83
F6	Industrie des composants électriques et électroniques	-1,53	0,71
G1+G2	combustibles, carburants, eau gaz électricité	-0,08	0,99
H0	Construction	-0,19	0,96

Tableau 25 : évolution tendancielle du nombre d'emplois (source INSEE)

La tendance est clairement à la baisse pour les emplois industriels. En particulier pour le textile, l'industrie du cuir, l'imprimerie, l'industrie des produits minéraux et l'agriculture. Certains secteurs, comme l'industrie agro-alimentaire et la construction sont bien moins pénalisés. Toutefois, il ne faut pas conclure trop vite à une désindustrialisation de la France : ce phénomène est en partie lié à l'externalisation des activités de service dans les entreprises : des activités comme le transport, la logistique, la maintenance informatique, l'entretien des véhicules, le nettoyage sont maintenant souvent effectuées par des entreprises de service, alors qu'il y a 20 ou 30 ans, elles étaient effectuées par l'entreprise industrielle (dont tous les emplois sont rapportés à l'activité principale de l'entreprise dans les statistiques). La prise en compte de la productivité des emplois industriels compense ce phénomène.

¹⁷ Conseil Général au Développement Durable

2.1.4 -Les tonnages 2005

Les données utilisées ici sont identiques à celles utilisées pour caler la génération, à savoir les données SITRAM à la zone d'emplois moyennées sur la période 2004-2006.

2.1.5 -L'évolution attendue du tonnage généré par emploi

Nous avons reconstruit un scénario tendanciel, non en fonction des tendances 1990-1999 de la zone BASIF considérée, comme l'avait fait le bureau d'études, mais en fonction des prévisions de tendance nationale des différents types d'emplois, ce qui permet d'éviter notamment d'afficher une très forte baisse des emplois industriels ou une baisse des emplois de la construction qui est conjoncturelle (l'année 90 correspondant ici au sommet d'une bulle immobilière). Prolonger une tendance n'est pas valable dans un contexte très local d'une petite zone.

Pour cela, nous avons utilisé les taux suivants, issus des modélisations du CGDD, et provenant des prévisions de l'INSEE :

Ci-dessous le Tableau 26 donne l'évolution des tonnes produites par emploi :

NES 36	Activités économiques	TCAM de la productivité en %	TCAM du ratio Valeur/tonne pour Export et national en %	ratio productivité 2025/2006	ratio valeur de la tonne 2025/2006	ratio tonnes produite par emploi 2025/2006
A0	Agriculture, sylviculture, pêche	3,50	0,67	1,67	1,13	1,48
B0	Industries agricoles et alimentaires	1,30	1,12	1,25	1,21	1,03
C1	Habillement et cuir	3,10	1,12	1,59	1,21	1,31
C2	Edition, imprimerie, reproduction	2,30	1,12	1,44	1,21	1,18
C3	Pharmacie, parfumerie, entretien	4,80	2,48	1,91	1,47	1,30
C4	Industries des équipements du foyer	2,60	1,12	1,49	1,21	1,23
D0	Industrie automobile	4,30	1,12	1,82	1,21	1,50
E1	Construction navale, aéronautique et ferroviaire	2,80	1,12	1,53	1,21	1,26
E2	Industrie des équipements mécaniques	3,70	1,12	1,70	1,21	1,40
E3	Industrie des équipements électriques et électroniques	6,40	1,12	2,22	1,21	1,83
F1	Industrie des produit minéraux	3,10	0,98	1,59	1,19	1,34
F2	Industrie textile	2,90	1,12	1,55	1,21	1,28
F3	Industrie du bois et du papier	2,60	1,12	1,49	1,21	1,23
F4	Chimie, caoutchouc, plastiques	2,80	1,12	1,53	1,21	1,26
F5	Métallurgie et transformation des métaux	3,10	3,12	1,59	1,59	1,00
F6	Industrie des composants électriques et électroniques	5,10	1,12	1,97	1,21	1,62
G1+G2	combustibles, carburants, eau gaz électricité	1,90	0,05	1,36	1,01	1,35
H0	Construction	1,00	0,98	1,19	1,19	1,00

Tableau 26 : évolution tendancielle de la productivité financière par emploi et de la valeur de la tonne

2.1.6 -L'évolution générale des tonnages produits, par secteur

Activités économiques	ratio tonnes produite par emploi 2025/2006	Ratio emplois 2025/emplois 2006	facteur de production global, hors scénario particuliers
Agriculture, sylviculture, pêche	1,48	0,60	0,89
Industries agricoles et alimentaires	1,03	0,91	0,94
Habillement et cuir	1,31	0,69	0,90
Edition, imprimerie, reproduction	1,18	0,64	0,76
Pharmacie, parfumerie, entretien	1,30	0,73	0,94
Industries des équipements du foyer	1,23	0,87	1,07
Industrie automobile	1,50	0,73	1,09
Construction navale, aéronautique et ferroviaire	1,26	0,73	0,92
Industrie des équipements mécaniques	1,40	0,75	1,06
Industrie des équipements électriques et électroniques	1,83	0,70	1,28
Industrie des produits minéraux	1,34	0,58	0,77
Industrie textile	1,28	0,44	0,56
Industrie du bois et du papier	1,23	0,70	0,86
Chimie, caoutchouc, plastiques	1,26	0,82	1,04
Métallurgie et transformation des métaux	1,00	0,83	0,83
Industrie des composants électriques et électroniques	1,62	0,71	1,15
combustibles, carburants, eau gaz électricité	1,35	0,99	1,33
Construction	1,00	0,96	0,97

Tableau 27 : évolution tendancielle de la production par secteur d'activité

On observe que la plupart des secteurs produisent moins en 2025, d'après la tendance.

2.1.7 -Modélisation des autres régions de France

On considèrera que les évolutions de la France entière sont identiques à celle de la région Baie-de-Seine, en effet, les éléments déterminants des scénarios sont plutôt nationaux (politique de développement, taxations), voire mondiaux (prix du pétrole, évolution technologique).

Concernant les autres régions de la France, on se contente de faire varier les tonnages émis et reçus en 2005, selon les variations globales dues aux scénarios, et les tendances nationales, sans appliquer aucun effet local (par exemple, mouvements de population en direction ou en provenance des centres-villes) : en tout état de cause, le zonage retenu (zone d'emplois) ne permet pas de rendre compte de cet effet local.

2.1.8 -Le cas particulier des ports

L'évolution des ports ne dépend pas du nombre d'emplois industriels ou de la population : il importe donc d'adapter notre méthodologie.

Ports secondaires ou locaux : Caen, Fécamp, Dieppe

Concernant ces ports, on fera l'hypothèse que leur trafic n'évolue pas significativement durant ces 15 prochaines années. Les flux en cause sont donc relativement faibles (objectif de 500 000 tonnes de marchandises pour Fécamp, 1,7M de tonnes traitées, en comptant le transmanche¹⁸, en 2009 pour le port de Dieppe). Le cas le plus problématique est le port de Caen (3,2 M de tonnes en 2009, en comptant le transmanche), qui draine un trafic important de PL en direction de l'Angleterre, avec une proportion conséquente de PL en provenance d'Espagne, et donc non pris en compte par les données SITRAM¹⁹. On ne modélisera donc pas ces ports de manière particulière. La génération sera corrigée en fonction des données SITRAM (ce qui permet de ne pas sous-évaluer le trafic de ces zones), et les tonnages évolueront en fonction des scénarios d'emplois, comme pour les autres zones.

Il existe deux grands ports maritimes dans la zone d'action : Le Havre et Rouen (dont dépendent les sites d'Honfleur et de Radicatel, notamment). Pour quantifier l'évolution des flux générés par ces derniers, on se basera sur les objectifs des ports, inscrits notamment dans leur projet stratégique.

Le port de Rouen :

Dans son projet stratégique, le GPMR (Grand Port Maritime de Rouen) prévoit :

- une relative stabilité des trafics de vrac liquide, qui passeraient de 10,8 millions de tonnes en 2008 à 12 millions de tonnes en 2020. On choisira d'ignorer cette modeste hausse, d'autant qu'une bonne partie de ces vracs liquides empruntent ensuite le pipe-line ;
- une hausse très forte du transport de granulat, qui passerait de 0,72 millions de tonnes en 2008 à 6 millions de tonnes en 2020. On considèrera que ces granulats seront ensuite transportés par les modes massifiés (ferroviaire et fluvial), bien adaptés à ce type de marchandises. Il y aura toutefois en pratique une évolution des transports finaux routiers de granulat (difficilement évitable le plus souvent pour l'approvisionnement des chantiers), qui seront sans doute plus fréquents dans l'avenir en provenance des sites fluviaux. Toutefois, nous ne modéliserons pas ce point particulier, car il n'est pas en mesure d'impacter fortement la zone d'étude. Les schémas suivants explicitent notre raisonnement : les flux routiers actuels «carrières proche de la région parisienne»/«chantier» vont être remplacés par des flux «ports de Paris²⁰»/«chantiers». Dans tous les cas, il s'agit de flux courtes distances qui n'impacteront que peu le système de transport de la Baie-de-Seine, et qu'il est de plus très difficile d'évaluer finement.

18 Les tonnages des ports à ferry de la Manche ne sont pas totalement comparables aux autres ports, car on compte la tare (le poids des véhicules), et le trafic voyageurs.

19 Pour le cas particulier des PL en provenance de l'Espagne, une piste d'estimation simple est l'utilisation de l'enquête Transit PL de 2004 à la frontière pyrénéenne. Toutefois, il n'a pas été jugé pertinent de le faire ici, car d'une part les autres flux de transit et d'échanges ne sont pas pris en compte, et d'autre part il faudrait développer une méthodologie de prise en compte de ces flux au niveau local.

20 Le port de Paris est constitué d'un ensemble de plates-formes et de quais de déchargement qui visent à desservir au plus près l'ensemble de la région parisienne.

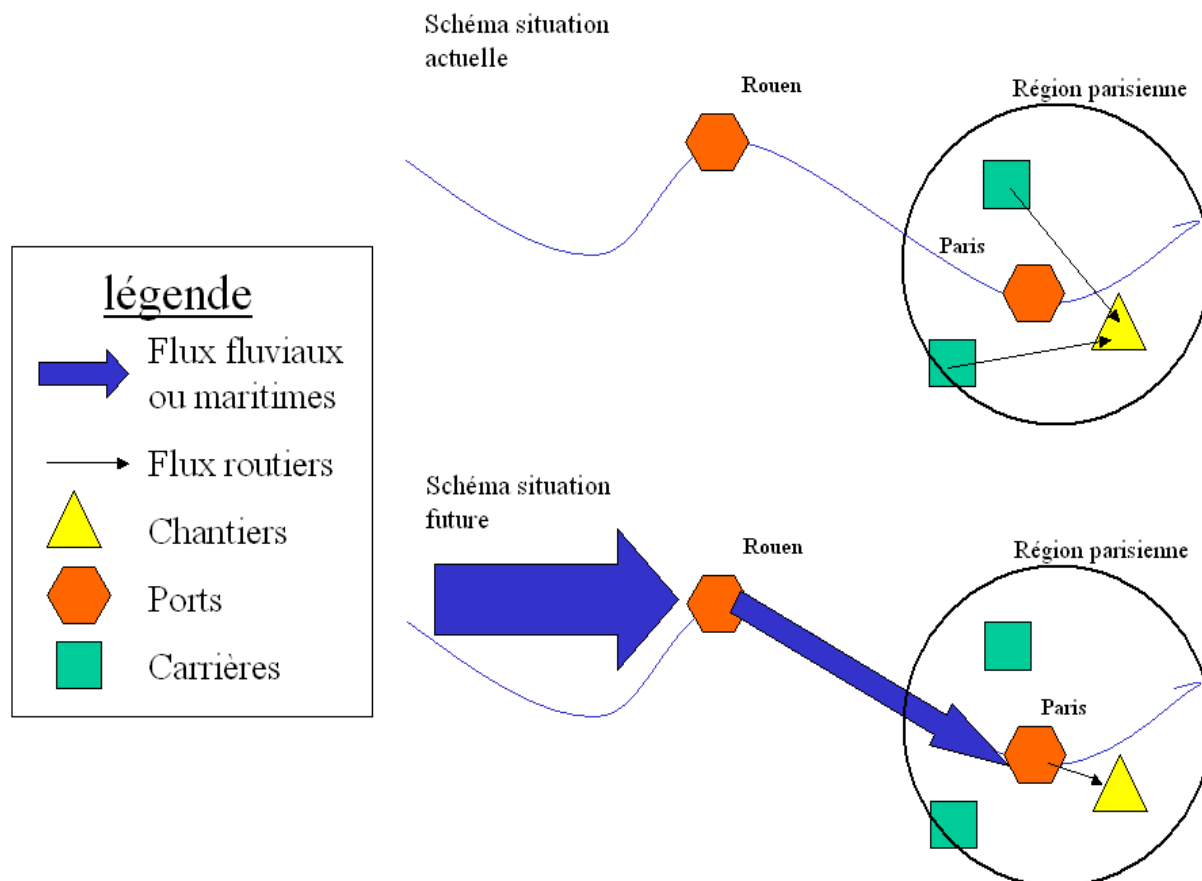


Illustration 3 : schéma très simplifié de l'évolution attendue des transports de matériaux de construction

- une hausse des conteneurs maritimes, qui passeraient de 1,19 à 1,90 millions de tonnes en 2020. On considérera de façon prudente que le trafic ne croît plus au même rythme entre 2020 et 2025. Cette hausse est à mettre en rapport avec la hausse attendue du report modal qui devrait passer de 20 à 26 %. En adoptant une hypothèse de 10 tonnes de marchandises conteneurisées par PL, on obtient un total de 35 000 PL en plus par an au départ de Rouen, soit une centaine de PL par jour. Les PL supplémentaires seront rajoutés directement à la sous-matrice du groupe de marchandises 1²¹ issue du modèle de véhicule, en prenant en compte la répartition des transports de ce groupe de marchandises. Ce dernier point peut-être contestable, car l'hinterland routier du port peut être différent de la répartition de ce groupe de marchandises, mais ceci est toutefois difficilement évaluable²² ; en ce qui concerne les flux routiers en Baie-de-Seine, l'impact de la destination précise est finalement faible ;
- une stagnation des marchandises diverses, autres que les conteneurs.

21 NST 0, NST 1, NST 9, sachant que les conteneurs sont comptés dans la NST 9.

22 L'hinterland actuel des ports est souvent mal connu et l'on pourrait imaginer un agrandissement de l'hinterland à l'Ouest, une diminution de l'hinterland routier au Nord et à l'Est grâce au canal Seine-Nord, et au développement des services feeder en région parisienne.

Le port du Havre :

Comme pour le port de Rouen, et pour les raisons développées ci-dessus, nous ne nous intéresserons pas au trafic de vrac, dont les évolutions attendues sont souvent modestes, et pour lesquelles la part des modes alternatifs à la route est forte.

Concernant le trafic conteneur, le port prévoit une hausse du trafic conteneur hors transbordement (le port du Havre est un "hub", notamment vers l'Angleterre ou les ports de la façade atlantique française) de 1, 58 M d'EVP en 2006 à 3,6M d'EVP en 2020. Ici aussi, nous prendrons en compte de façon prudente les objectifs de 2020 en 2025. La part modale des modes alternatifs évoluerait de 15 à 25 %. Cela représente une hausse de 850 000 PL par an, soit un ordre de grandeur de 2 300 PL en plus par jour, en comptant 1,6 EVP par PL.

Nous travaillerons de la même façon que pour Rouen, en rajoutant des véhicules à la sous-matrice du groupe de marchandises 1.

En résumé, nous rajoutons à la sous-matrice du groupe de marchandises 1, issue du modèle de véhicule :

- 35 000 PL par an, à partir de la zone 176 (Grand-Couronne), correspondant au nouveau terminal à conteneur, dont l'on suppose qu'il manutentionnera l'essentiel des conteneurs supplémentaires prévus ;
- 850 000 PL par an, à partir de la zone 132, au Havre (les portiques à conteneurs sont situés sur la zone 133, mais des considérations d'affectation poussent à choisir la zone 132).

Les chiffres ci-dessus sont à comprendre comme la résultante des hausses de trafic deux sens. Tous les conteneurs manutentionnés sont pris en compte dans les prévisions des ports, y compris le trafic à vide.

Nous appliquerons cette hausse dans tous les scénarios, à l'exception du scénario peak-oil (scénario 3), basé sur une relocalisation des activités.

2.2 - Les formules utilisées pour évaluer la génération en 2025

2.2.1 -Évaluation du nombre d'emplois en 2025

$$Emp_{j,k,i,2025} = Emp_{k,i,2005} \times Pr\acute{e}viTypeEmpZone_{j,k,i,2025} \times TendNatCatEmp_{k,2025} \times FacteurPop_{i,2025} \times K_k^1$$

j est le scénario considéré, k le type d'emploi considéré (en général, une catégorie de la NES 36),

i la zone considérée, 2005 et 2025 étant les horizons de l'étude.

avec

$$Pr\acute{e}viTypeEmpZone_{j,k,i,2025} = 1 + \frac{Emp_{k,j,2025} - Emp_{k,1999}}{Emp_{k,1999}} \times \frac{20}{26}$$

le 20/26 permet de tenir compte que la prévision initiale porte sur la période 1999-2025 et non sur 2005-2025.

$$TendancenatCatEmp_{k,2025} = \frac{EmpNat_{k,2025}}{EmpNat_{k,2005}}$$

Cela correspond aux valeurs en vert du tableau 11

$$FacteurPop_{i,2025} = \frac{PopBASIF_{1999}}{PopBASIF_{2025}} \times \frac{Pop_{2025} Zone_i}{Pop_{1999} Zone_i}$$

Pour les zones hors BASIF, FacteurPop vaut 1 et PréviTypeEmpZone est constant pour chaque type d'emploi, correspondant à la moyenne des zones BASIF.

$$K^1_{j,k} = \frac{\text{Emplois prédict sur la Baie – de – Seine}_{\text{seules hypothèses régionales et globales}}}{\text{Emplois prédict sur la Baie – de – Seine}_{\text{toutes hypothèses, y compris locales}}}$$

Le facteur correctif sert à ce que le nombre global d'emplois des zones BASIF ne dépende pas des variations particulières de la population des zones : si le nombre d'emplois industriels diminue de 10 % dans un scénario, le nombre d'emplois industriels d'un certain type diminuera de 10 % dans l'ensemble des zones BASIF, même si la répartition des emplois a pu varier (les zones dont la population a augmenté comptent aussi plus d'emplois).

2.2.2 -Évaluation des tonnes transportées

On modélise ensuite l'évolution des tonnages transportés, en fonction des prévisions d'évolutions des emplois, et non des prévisions d'emplois brutes.

X représente la classe NST considérée, alpha et bêta sont les coefficients de génération, qui varient selon le type d'emploi et la classe NST.

$$\frac{At_{x,j,i,2025}}{At_{x,SITRAM,i,2005}} = \frac{\left[\sum_k \alpha_k(x) \times Emp_{j,k,i,2025} \times EvoNat_k \right] + \beta(x) \times Pop_{j,i,2025}}{\left[\sum_k \alpha_k(x) \times Emp_{k,i,2005} \right] + \beta(x) \times Pop_{i,2005}} \times K^2_{j,x}$$

avec $EvoNat_k = \Delta_{2025/2005} \frac{ProdEmp_k}{ValeurTonne_k}$

Ce paramètre permet de tenir compte des évolutions tendanciennes nationales concernant le nombre de tonnes produites par emploi. La tendance est à des emplois qui sont plus productifs (en valeur), mais aussi à des marchandises dont la valeur à la tonne augmente. Les deux effets sont contradictoires, quant au tonnage final produit. Les données utilisées sont représentées dans le tableau 12.

Raisonnement en évolution permet de tenir compte des situations particulières : si une zone (par exemple l'Ouest de la petite couronne parisienne) compte beaucoup d'emplois "industriels" (ici, les sièges des grands groupes à La Défense), mais génère peu de flux de marchandises, elle n'en générera pas dans le modèle.

Du fait de ce choix, il nous faut encore ajouter le paramètre suivant :

$$K^2_{j,x} = \frac{\text{Tonnage prédict sur la Baie de Seine}_{\text{seules hypothèses régionales et globales}}}{\text{Tonnage prédict sur la Baie de Seine}_{\text{toutes hypothèses, y compris locales}}}$$

En effet, on a vu que les emplois évoluaient avec le dynamisme particulier des zones considérées. C'est pourquoi l'on a rajouté un paramètre correctif pour accorder l'évolution du nombre d'emplois avec les prévisions nationales et les hypothèses régionales des scénarios.

Cependant, étant donné que dans le modèle, on ne génère pas directement des tonnes en 2025, mais que l'on utilise la variation des facteurs de génération pour faire varier le tonnage 2005, déplacer des emplois d'une zone à une autre n'est pas sans conséquence sur le volume total généré, puisque dans cette optique un emploi ne génère pas le même tonnage dans chaque zone.

Le calcul donne les résultats suivants (pour les principales NST) :

coefficients correctifs								
scénario	NST0		NST1		NST6		NST9	
	émissions	réceptions	émissions	réceptions	émissions	réceptions	émissions	réceptions
1	1,10	1,04	1,05	1,03	1,01	1,00	0,95	0,97
2	1,06	1,02	1,02	1,02	0,99	0,97	0,97	0,97
3	1,08	1,05	1,04	1,03	1,02	1,02	1,00	1,00
4	1,08	1,03	1,03	1,02	1,00	0,98	0,98	0,98

Tableau 28 : coefficients correctifs, par NST et scénario

Pour les zones hors BASIF, il n'est pas besoin de définir un coefficient correctif, la répartition de la population ne variant pas.

Mis à part pour les produits agricoles en vrac, les coefficients sont très proches de un. Le cas des produits agricoles s'explique facilement : ils sont en bonne partie générés par des zones très rurales, marquées par une tendance démographique négative. On a corrigé le nombre d'emplois, mais ceux-ci se retrouvent plutôt dans des zones où les emplois agricoles étaient en moyenne moins émetteurs. Il convient donc de corriger encore, pour que les hypothèses de départ et les tendances nationales expliquent à elles seules le niveau global de marchandises transportées sur la Baie-de-Seine.

A l'issue de cette étape, la somme des réceptions et des émissions n'est plus équilibrée. On choisit d'équilibrer au niveau national sur les réceptions, qui dépendent à la fois de l'évolution des emplois et de la population. L'opération consiste simplement à multiplier toutes les émissions françaises par un facteur correctif.

2.3 - Résultat de la génération

Les différences entre scénarios correspondent bien aux hypothèses envisagées. On obtient des scénarios aux différences marquées, surtout pour l'agriculture, où les hypothèses de départ ont été assez tranchées. Les NST 0 et 1 reculent fortement dans les scénarios 2 et 4, et non dans les scénarios 1 et 3. A contrario, l'industrie recule dans les scénarios 1 et 2, et progresse dans les scénarios 3 et 4, ce qui se retrouve dans l'évolution des NST 3, 4, 5, 8 et 9. Les dynamiques tendanciennes différentes selon les types d'industries expliquent les différences d'évolution relatives entre les NST industrielles. On rappelle que les NST 2 et 7 n'ont pas été modélisées en prospective, en raison de l'absence de fiabilité du modèle et des données SITRAM en situation actuelle.

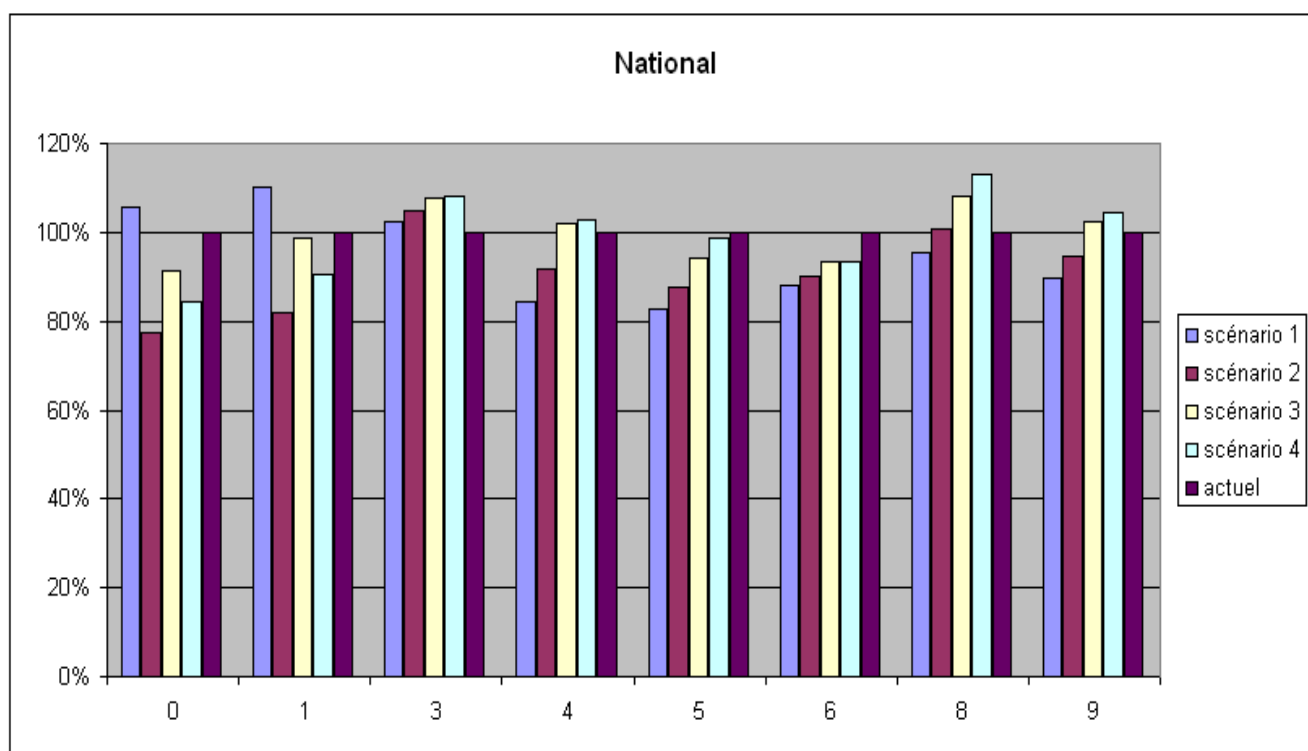
On peut se demander pourquoi l'impulsion donnée dans le scénario 4 au transport apparaît aussi peu dans l'évolution de la NST 9. L'explication consiste dans le fait que dans nos paramètres de génération, la logistique pèse assez peu.

Concernant la NST 6, les matériaux de construction, les évolutions entre scénarios sont faibles, ce qui est logique : cette activité n'a pas fait l'objet d'hypothèses spécifiques. La baisse globale de cette NST est toutefois discutable, dans un contexte de population stable. Cette baisse est en fait causée par la diminution très forte des emplois de l'industrie d'extraction, diminution qui n'induita toutefois a priori pas de baisse du nombre de chantiers, mais plutôt une importation accrue de matériaux de l'étranger.

La situation de la NST 3, qui stagne ou augmente légèrement selon les scénarios, paraît paradoxale, au moins pour le scénario 3 de Peak Oil : la consommation d'hydrocarbure semble augmenter ! C'est parce que les hypothèses de baisse de mobilité des personnes (pour le travail ou le domicile-travail notamment) n'ont pas été retranscrites dans nos hypothèses de base. Considérant le poids modeste de la NST 3 dans l'ensemble du transport de marchandises routier, il a été choisi ici de ne pas la modéliser particulièrement.

Classe NST		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
données SITRAM 2004-2006	part de la NST dans les trafics 2004-2006 en tonnes	11%	10%	0%	4%	2%	1%	47%	2%	2%	21%
	part de la NST dans les trafics 2004-2006 en tonnes-kilomètre	14%	15%	1%	4%	1%	2%	19%	2%	4%	38%
variations des tonnages générés selon les scénarios, en 2025, par rapport à SITRAM 2004- 2006	scénario 1	5%	10%	0%	3%	-16%	-17%	-12%	0%	-5%	-10%
	scénario 2	-22%	-18%	0%	5%	-8%	-12%	-10%	0%	1%	-5%
	scénario 3	-8%	-1%	0%	8%	2%	-6%	-7%	0%	8%	2%
	scénario 4	-15%	-9%	0%	8%	3%	-1%	-7%	0%	13%	4%

Tableau 29 : résultats nationaux, selon la classe NST et le scénario, par rapport à la situation actuelle



Graphique 4 : résultats nationaux, selon la classe NST et le scénario, par rapport à la situation actuelle

Le Tableau 29 reprend le Graphique 4 ci-dessus en présentant les évolutions en pourcentage.

On rappelle que les évolutions de la Baie-de-Seine (en incluant l'Ile-de-France) et les évolutions nationales sont identiques car la situation nationale est calée sur la situation dans l'ensemble de la Baie-de-Seine.

On déduit du tableau précédent l'évolution générale du tonnage transporté sur les routes, par scénario :

	Évolution globale des tonnes transportées	Évolution globale des tonnes-kilomètres transportés
Scénario 1	-7 %	~
Scénario 2	-10 %	-10 %
Scénario 3	-3 %	-1 %
Scénario 4	-4 %	-2 %

Tableau 30 : évolution des tonnes générées par scénario, par rapport à la situation actuelle

Un premier constat : le trafic généré baisse, quel que soit le scénario. Nous n'avons toutefois pas tenu compte à ce stade de l'augmentation attendue du tonnage des ports maritimes.

Ces résultats s'expliquent, le modèle suit la tendance actuelle : moins d'emplois industriels, des emplois plus productifs en valeur, mais produisant des biens dont la valeur à la tonne augmente.

On pourrait objecter que cette perte d'emplois n'est pas la seule résultante de la productivité qui augmente, mais une résultante des délocalisations. Or, même si l'on tient compte des prévisions de hausse des trafics des ports, qui anticipent en partie sur une certaine délocalisation des activités, il n'y a pas dans le modèle de phénomène de «vase communicant», qui réattribuerait au port les tonnages perdus par les activités intérieures. Cette façon de faire nous semble erronée, car l'activité de livraison finale paraît assez secondaire dans la détermination statistique de la génération. La création d'un bien entraîne une quantité de transports intermédiaires (approvisionnement en matières premières, création de produits intermédiaires, déchets, ...). Délocaliser des activités, plus que de transférer des trafics de marchandises de l'usine vers le port, va ainsi délocaliser des trafics de France vers le pays de délocalisation. Pour prendre un exemple, une usine automobile reçoit des pièces de dizaines voire de centaines de sous-traitants, pas forcément situés en France, et les tonnages générés ne sauraient être réduits au transport de voitures neuves assemblées.

Deuxième constat, l'écart entre les scénarios est sensible, mais pas extrêmement élevé : 10 % au maximum. Cela est dû à :

- la structure des scénarios retenus par le bureau d'études, qui a cherché des hypothèses contrastées, mais n'a pas cherché à opposer des scénarios très pessimistes à des très optimistes. En conséquence, les emplois dans l'agriculture et l'agro-alimentaire vont souvent évoluer à l'inverse des emplois industriels ;
- le poids de la NST 6, qui évolue peu selon les scénarios, dans le total des transports de marchandises.
-

2.4 - Discussion de la pertinence d'utiliser les projections d'emploi et de productivité pour prévoir l'évolution des tonnages transportés

classe NST	émissions	réceptions
0	93%	96%
1	94%	95%
6	91%	94%
9	97%	99%

Tableau 31 : évolutions prévues des emplois vu l'évolution tendancielle des emplois (entre autres), hors scénarios particuliers

Notre modèle prévoit une baisse ou une stagnation des tonnages transportés pour les 4 principales classes NST, au contraire de l'évolution tendancielle des tonnages transportés, qui est à la hausse pour les NST les plus importantes.

NST	Produits	TCAM Flux Interne 2000 - 2030	extrapolation : ratio flux interne 2005/2025
0	Produits agricoles et animaux vivants	2,70	154%
1	Denrées alimentaires et fourrages	0,91	118%
2	Combustibles minéraux solides	-0,48	90%
3	Produits pétroliers	-0,48	90%
4	Minerais et déchets pour la métallurgie	-0,78	84%
5	Produits métallurgiques	-0,78	84%
6	Minéraux bruts ou manufacturés et matériaux de construction	0,61	112%
7	Engrais	0,01	100%
8	Produits chimiques	0,13	103%
9	Machines, véhicules, objets manufacturés	0,91	118%

Tableau 32 : évolution tendancielle des tonnages transportés (source : CGDD)

La tendance issue de la prise en compte des évolutions du nombre d'emplois, de la productivité et de la valeur de la tonne est très différente de celle issue de l'étude de l'évolution des tonnages transportés. Si dans les deux cas, prolonger les courbes paraît hasardeux, l'évolution des tonnages semble plus facilement utilisable, car elle ne dépend que de l'évolution d'une seule source. Toutefois, rien ne garantit que les tonnages transportés évoluent dans le futur de la même façon que par le passé.

2.5 - Schéma simplifié récapitulatif

Pour une zone interne à la Baie-de-Seine, voici l'ensemble des opérations effectuées, pour déterminer l'émission ou la réception d'une zone donnée dans un scénario donné, de marchandises de NST A dont le niveau d'émission est induit par les emplois industriels de type x ou y.

Les cases bleues correspondent aux données de 2005 (source INSEE pour les emplois et SITRAM pour les tonnages émis), les cases vertes aux étapes du calcul, les cases blanches aux explications, et les cases rouges au résultat en 2025. On a pris dans l'exemple fictif ci-dessous $K1=1.01$, et $K2=1$.

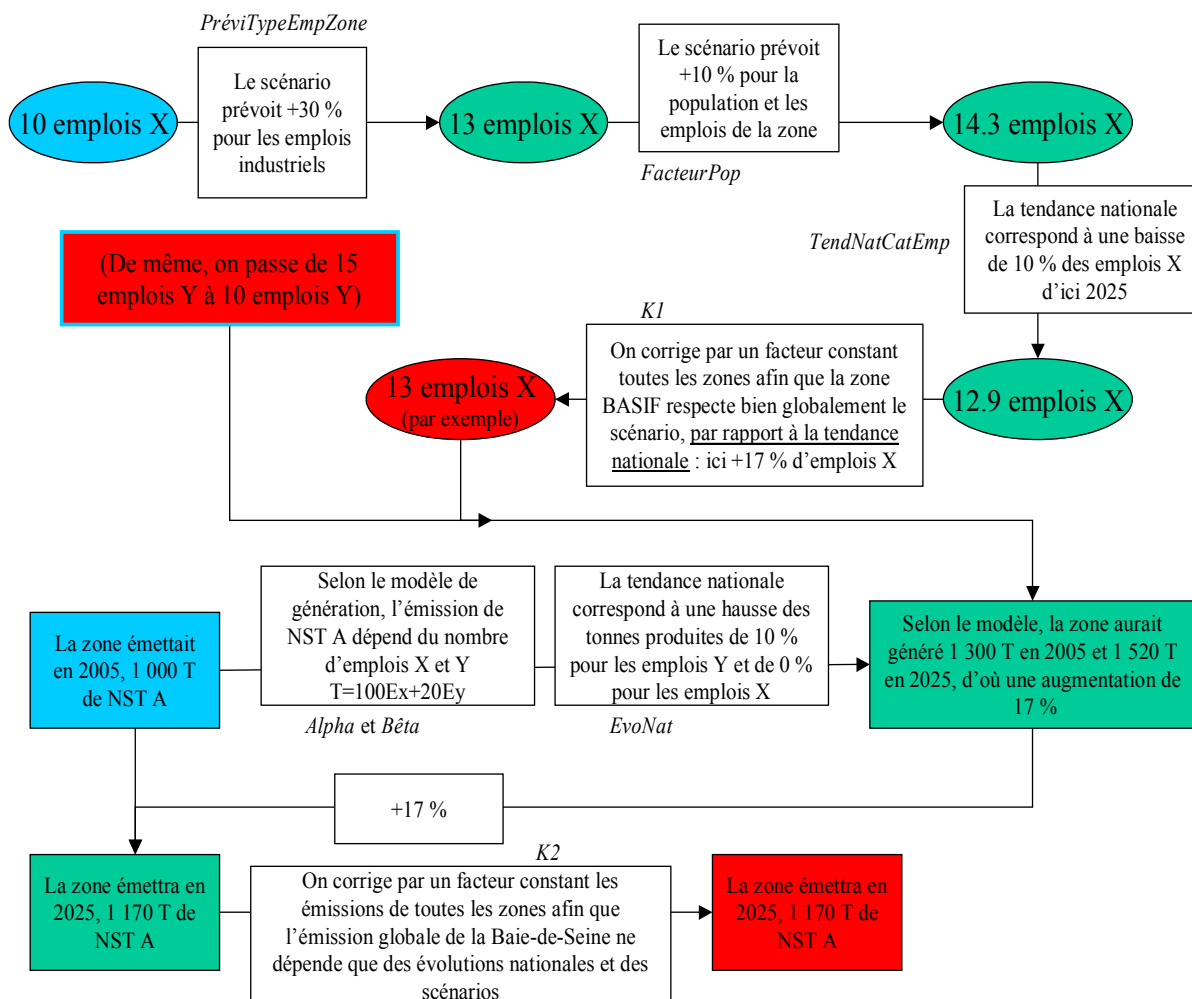


Illustration 4 : schéma général de l'étape de génération en prospective

3 - Distribution

Dans la phase précédente (voir Chapitre 3), nous avons observé :

- que la génération fonctionnait assez mal pour les NST 2 et 7 ;
- que les données SITRAM pour les NST 2, 4, 5, 7 et 8 étaient assez peu fiables (la question de la fiabilité des données SITRAM est abordée en annexe) ;
- enfin, pour la NST 3, que la génération en prospective donnait des résultats assez mitigés, de par la trop grande simplicité du modèle utilisé.

C'est la raison pour laquelle nous avons décidé de nous focaliser sur les NST 0, 1, 6 9, qui représentent la majorité des tonnages transportés. Pour les NST 2, 3, 4, 5, 7, et 8, nous avons finalement choisi de reprendre les matrices des tonnages de 2005 et de les faire évoluer de la même manière que la NST 9 entre 2005 et 2025.

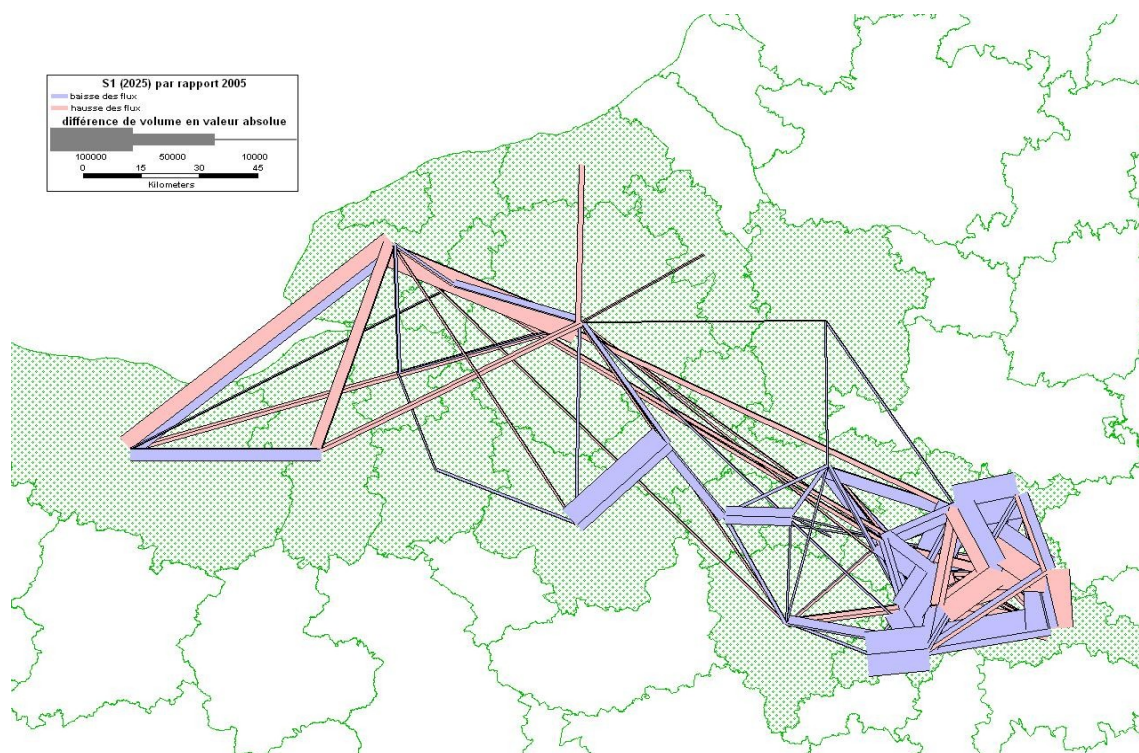
Ainsi, en définitive, pour les scénarios de prospective, dès l'étape de distribution nous ne modélisons plus que les NST 0, 1, 6 et 9.

3.1 - Distribution à la zone d'emploi

La méthode présentée pour la situation actuelle, (c'est-à-dire la version présentée au Chapitre 3)est appliquée à l'identique.

Les résultats sont présentés grâce à des lignes de désir, zone d'emplois à zone d'emplois, en termes de différence entre chaque scénario (2025) et l'année de calage (2005). Les flux subissant des évolutions inférieures à 10 000 tonnes par an sont masqués.

3.1.1 -Scénario 1



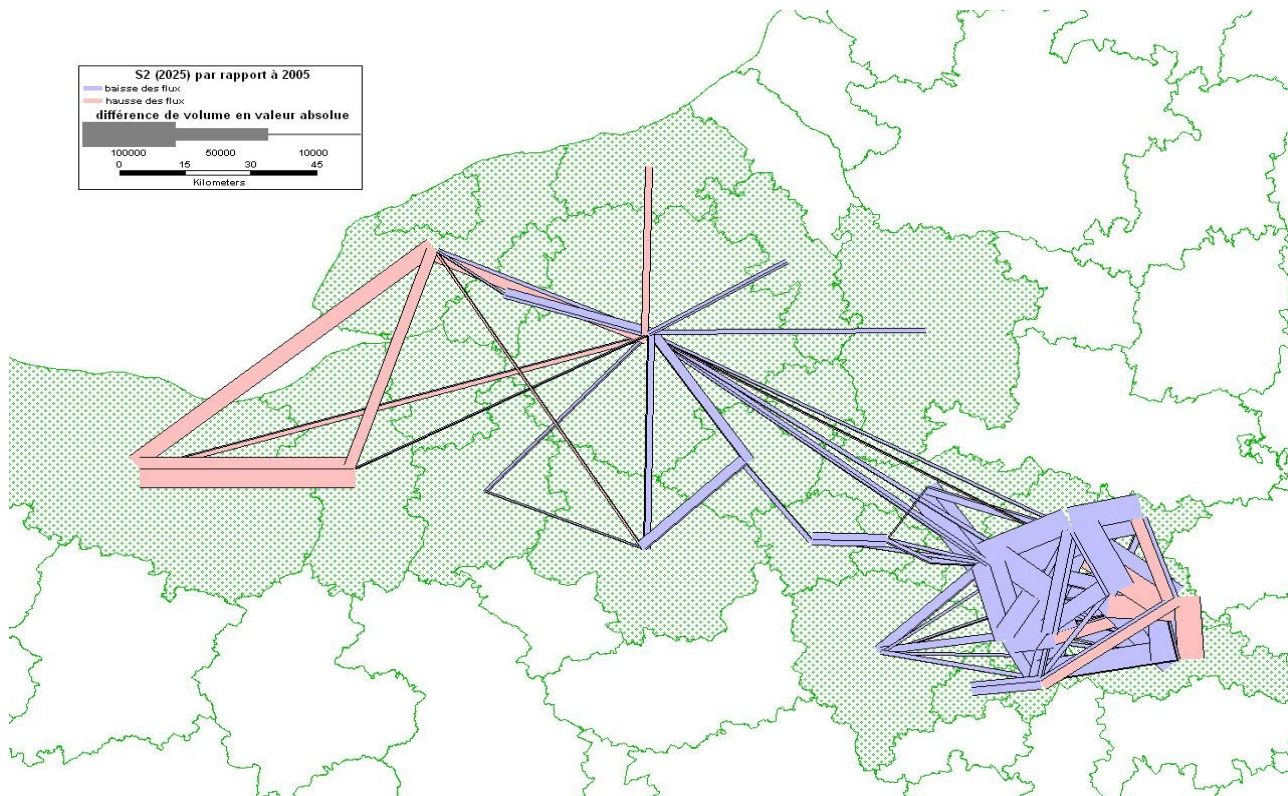
Carte 36 : évolution des flux de marchandises entre 2005 et 2025 (S1)

Les zones d'emplois de Rouen et du Havre sont les plus dynamiques, surtout en émission. Les flux à l'intérieur du tripôle Caen-Rouen-Le Havre sont globalement en hausse, ainsi que les flux entre les zones situées le long de l'axe Le Havre-Rouen-Paris. Ailleurs, les flux sont plutôt en baisse. On retrouve ici parfaitement les hypothèses prises pour l'emploi et la population dans ce scénario (dynamisme démographique des pôles urbains et des zones desservies par le fer, hausse des emplois industriels dans les zones d'emplois du Havre et de Rouen, et baisse des emplois industriels ailleurs).

Globalement, ce scénario contribue à un déplacement des transports de marchandises le long de la Seine (même s'il est regrettable qu'il n'ait pas été tenu compte ici de l'accès au fluvial), mais aussi sur les liaisons directes entre agglomérations.

3.1.2 - Scénario 2

Ce scénario prévoit une baisse généralisée du trafic de marchandises en tonnage, la plus forte des 4 scénarios.

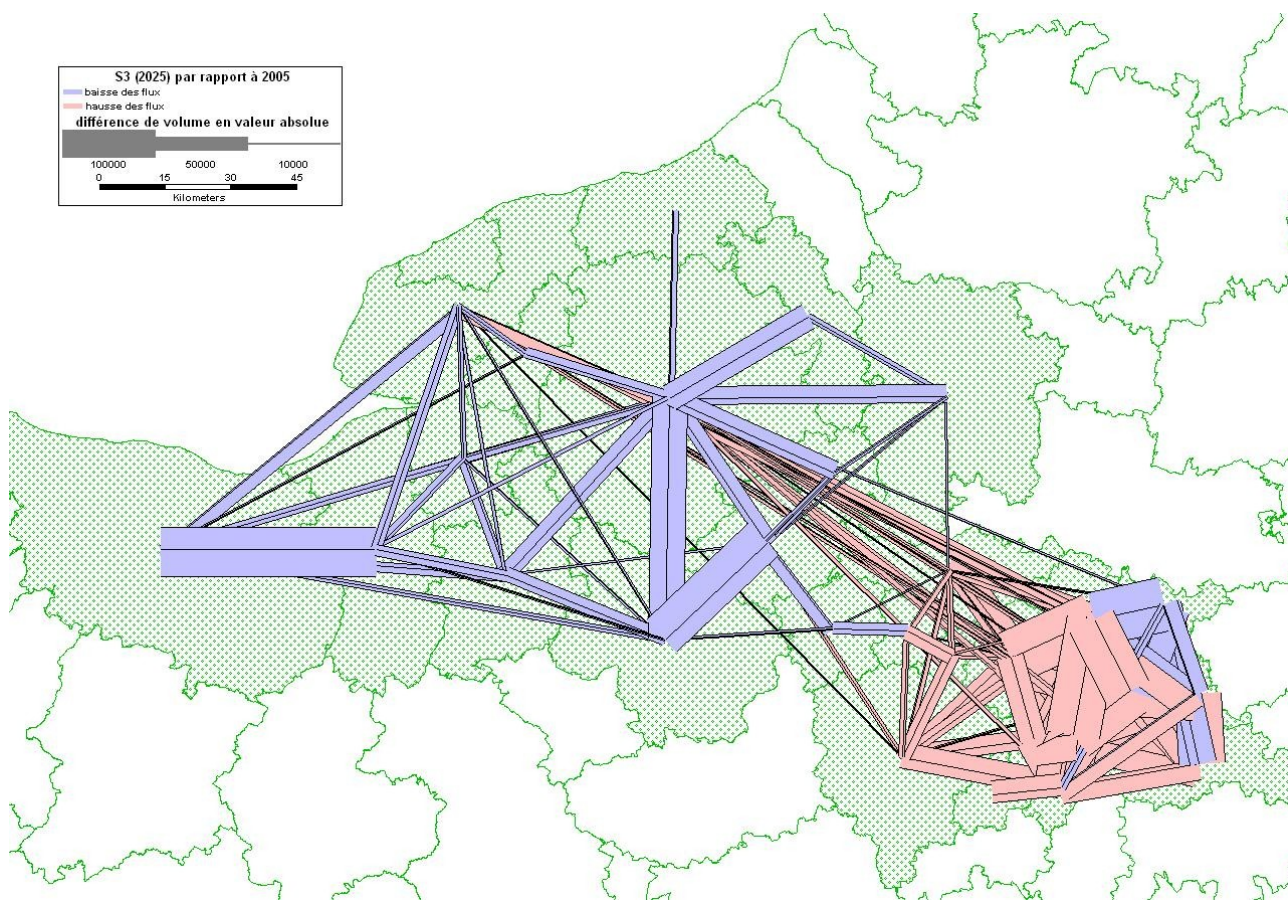


Carte 37 : évolution des flux de marchandises entre 2005 et 2025 (S2)

Le scénario prévoit une fuite des personnes et des activités vers le péri-urbain et les communes multi-polarisées, le littoral et la vallée de la Seine : c'est surtout le second point qui est visible sur les résultats, car pour le péri-urbain et les communes multi-polarisées : le niveau de tonnage généré initialement était souvent très bas, une forte hausse n'a donc que très peu d'impact.

En d'autres termes, malgré la baisse globale des emplois dans ce scénario qui conduit à une baisse globale des flux de marchandises au niveau national, le dynamisme démographique des zones littorales génère une croissance des flux de marchandises le long de celui-ci, alors que partout ailleurs les flux sont en baisse : c'est donc la conséquence d'une réorganisation de la demande de transport de marchandises (résultant de l'étape de distribution) qui est observée ici.

3.1.3 -Scénario 3



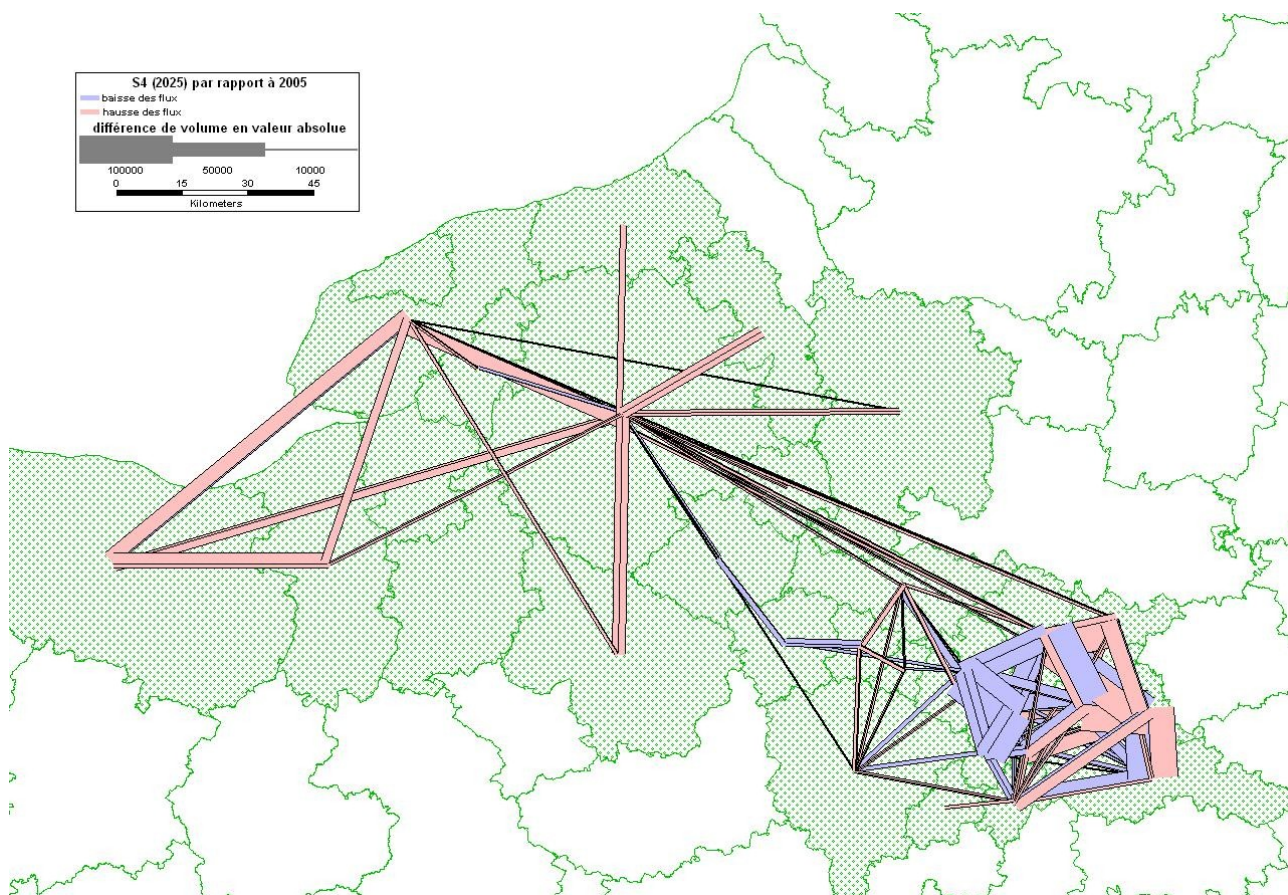
Carte 38 : évolution des flux de marchandises entre 2005 et 2025 (S3)

Ce scénario prévoit une hausse de l'industrie agro-alimentaire, mais aussi à moindre échelle, de l'industrie. Le niveau global des tonnages générés est similaire au niveau actuel.

Cependant, malgré des hypothèses globales de croissance d'emplois beaucoup plus favorables que les autres scénarios (à l'exception du scénario 4), et donc des tonnages transportés théoriquement supérieurs, à l'intérieur de la Baie-de-Seine les flux de marchandises sont systématiquement en baisse, sauf les flux d'échange avec l'Ile-de-France, ainsi que les flux internes à l'Ile-de-France.

On observe ici la conséquence des hypothèses prises pour la population dans ce scénario (voir Carte 31 au paragraphe 2.1.1 -Hypothèses d'évolution de la population). Par ailleurs, le fait de concentrer la génération de marchandises dans des zones urbaines proches tend à réduire le nombre de kilomètres parcourus.

3.1.4 -Scénario 4



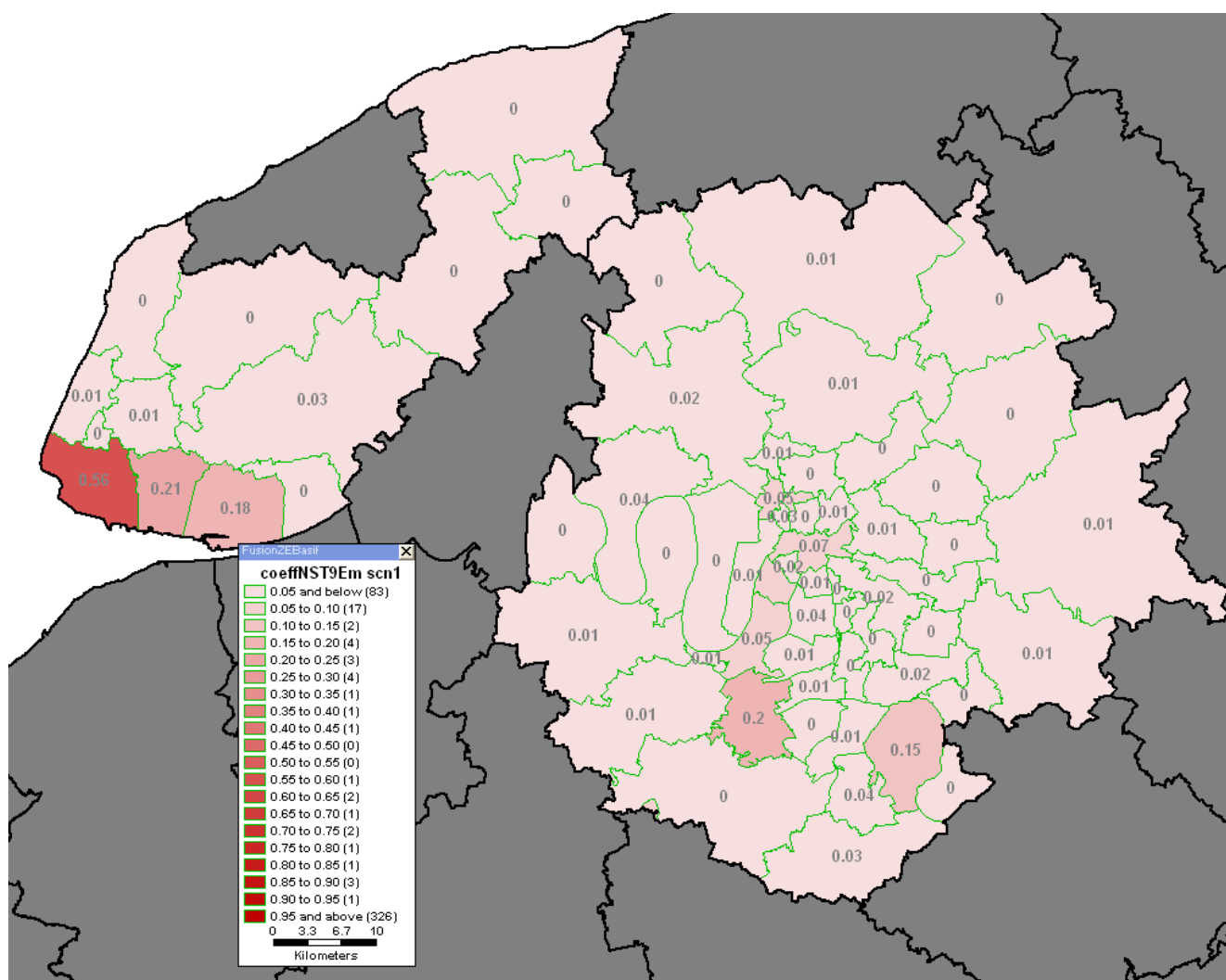
Carte 39 : évolution des flux de marchandises entre 2005 et 2025 (S4)

Le scénario 4, qui est celui de la croissance de la population dans quasiment toutes les zones sauf les communes urbaines, et de la baisse limitée et globale des emplois, entraîne de manière logique une hausse relativement limitée mais quasi-systématique des flux de marchandises entre les zones d'emploi de la Baie-de-Seine, compensée par la baisse des flux internes à l'Ile-de-France.

Par ailleurs, le fait d'étaler la génération des marchandises sur l'ensemble des zones tend à augmenter le nombre de kilomètres parcourus.

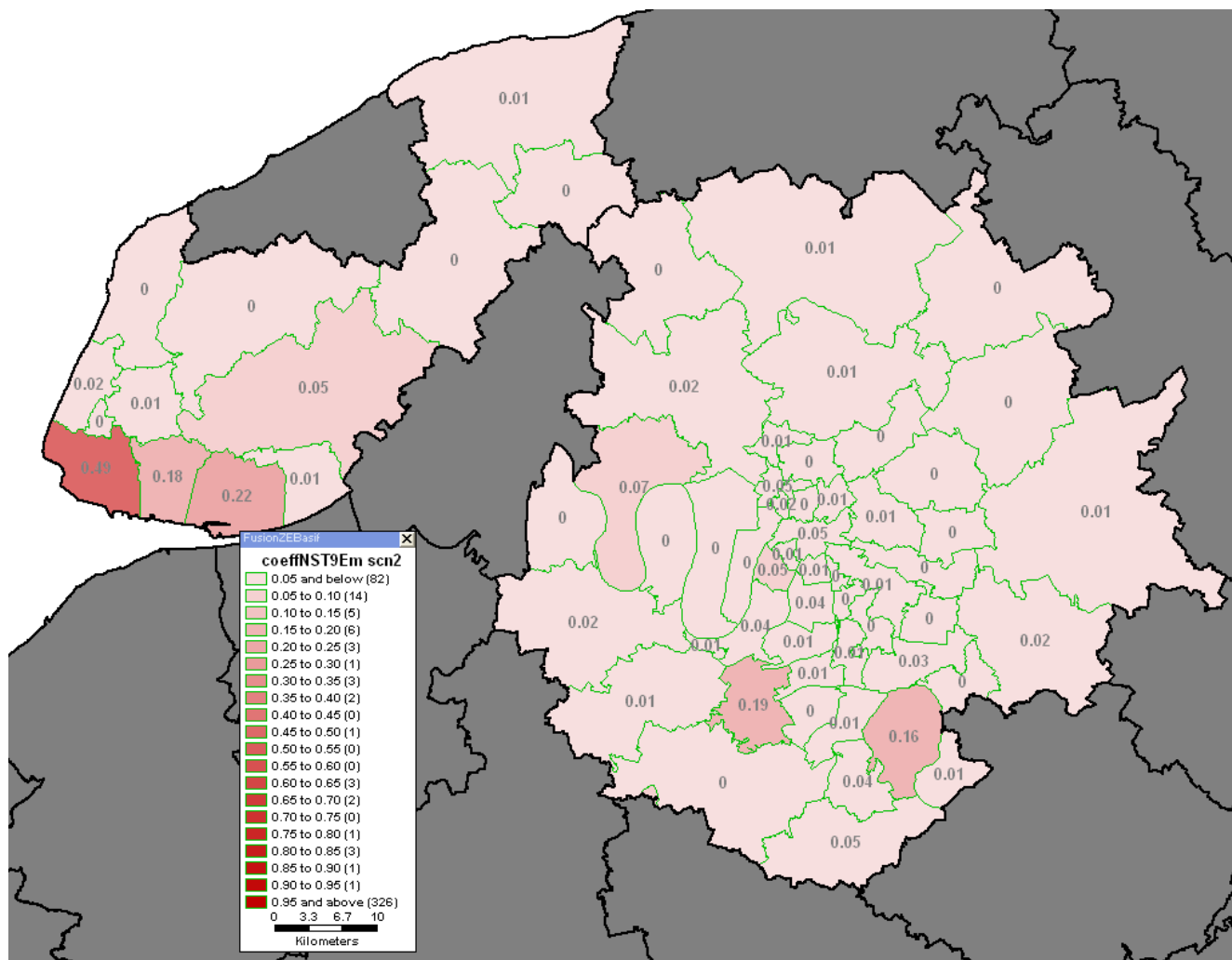
3.2 - Désagrégation de la distribution

L'étude porte maintenant sur l'influence des scénarios sur la répartition géographique fine du niveau total de marchandises généré dans une zone. Dans un souci de lisibilité du rapport, seule l'analyse du cas de la NST 9 en émission sera détaillée. Dans cette partie, on comparera donc les cartes avec la Carte 20: répartition des émissions NST 9 qui présente la répartition actuelle dans le modèle.



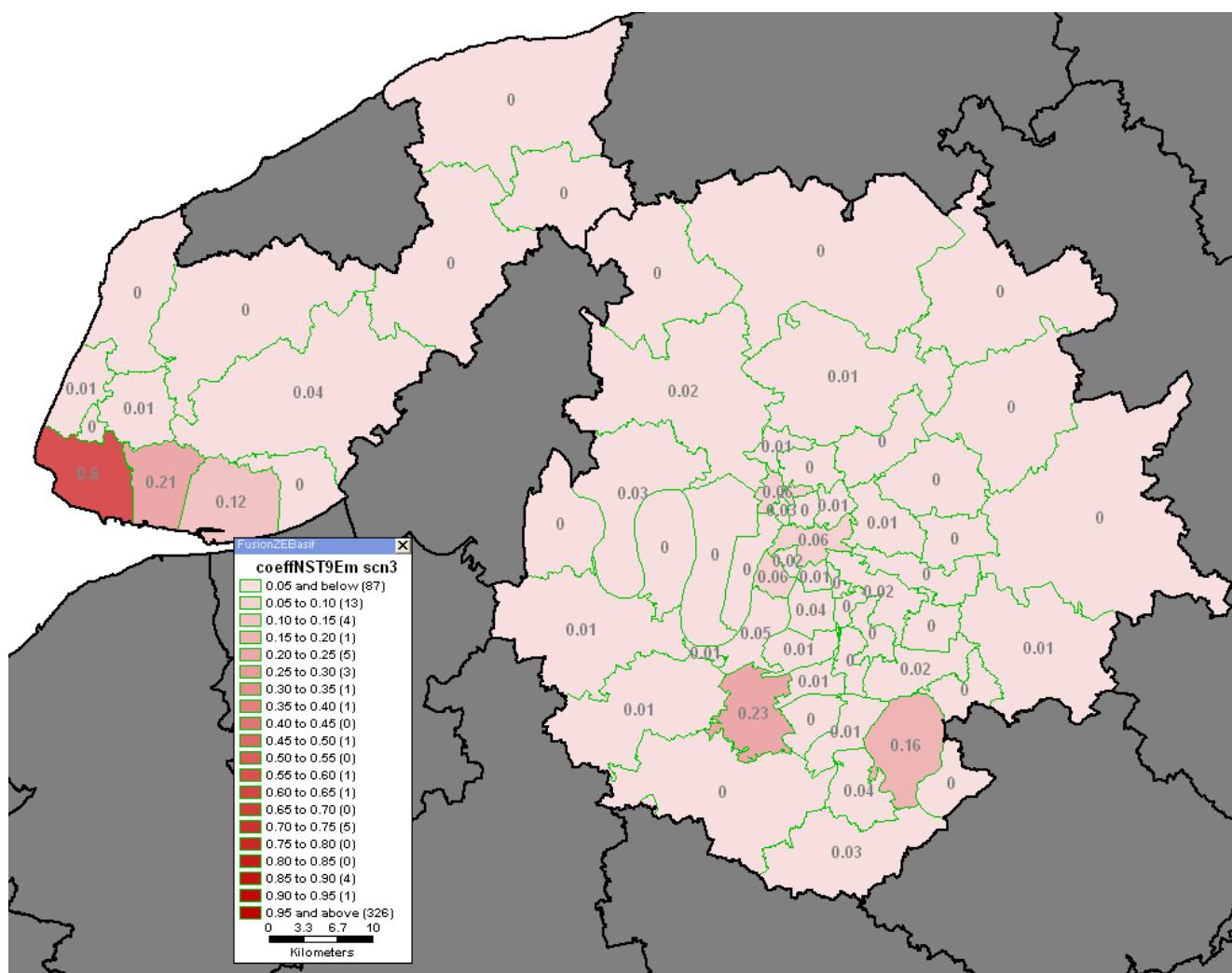
Carte 40 : répartition des émissions de NST 9 en 2025 dans les ZE du Havre et de Rouen, scénario 1

Le scénario 1, Grenelle ++, prévoit un déplacement des activités vers les communes desservies par le fer et les communes urbaines. L'agglomération de Rouen et du Havre gagnent ainsi des parts d'émissions, au détriment de certaines zones plus isolées, comme Beuzeville (passage de 0,05 à 0,03, dans la ZE du Havre ou Duclair (passage de 0,07 à 0,04) dans la ZE de Rouen. Les communes de ces zones qui ne sont pas reliées au ferroviaire vont perdre en effet des habitants et des emplois.



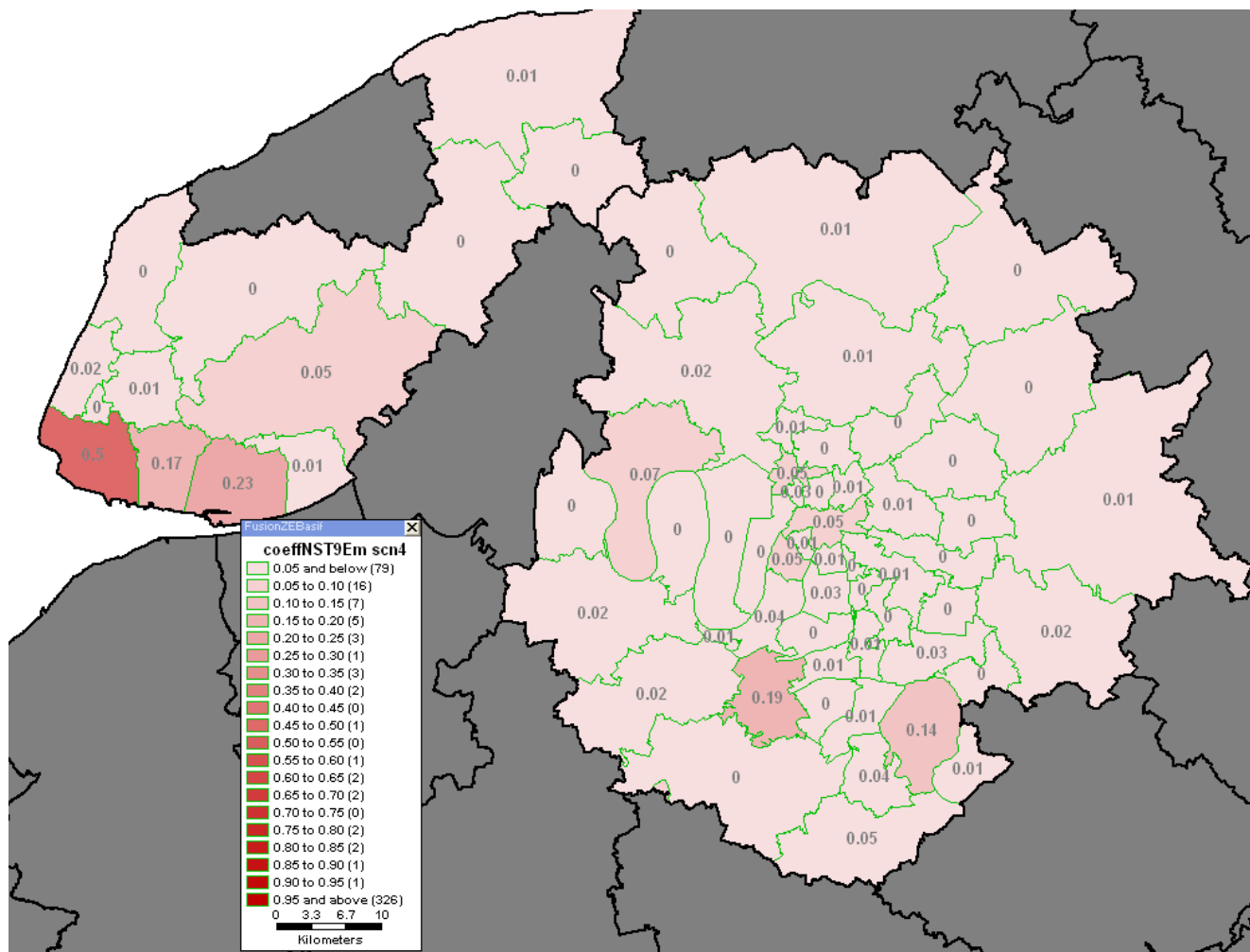
Carte 41 : répartition des émissions de NST 9 en 2025 dans les ZE du Havre et de Rouen, scénario 2

Le scénario 2 prévoit une récession, qui s'accompagne d'une fuite de la population et des emplois vers le péri-urbain, notamment s'il est relié à l'autoroute. Les effets sont presque invisibles pour la ZE du Havre, seule la ville du Havre perd quelques emplois. Ces effets sont à peine plus marqués pour la ZE de Rouen, avec un petit glissement des émissions vers le Sud de l'aire urbaine rouennaise. On peut penser que les communes favorisées étaient en 2005 pauvres en emplois industriels, ce qui explique qu'une hausse relative de ces emplois ait peu d'impact.



Carte 42 : répartition des émissions de NST 9 en 2025 dans les ZE du Havre et de Rouen, scénario 3

Le scénario 3 prévoit une relocalisation des activités, induit par la hausse du prix du transport, ce qui favorise légèrement les zones urbaines, dont Cléon fait apparemment partie. Cet effet est bien visible sur la zone portuaire du Havre, qui se replie à l'Ouest vers la ville centre, et pour la proche agglomération de Rouen, qui gagne des parts.



Carte 43 : répartition des émissions de NST 9 en 2025 dans les ZE du Havre et de Rouen, scénario 4

Au contraire du scénario 3, le scénario 4 favorise le péri-urbain relié à l'autoroute. On observe alors un déplacement de la zone portuaire du Havre vers l'Est, et le développement de zones comme Beuzeville, situées à proximité de l'A29.

Chapitre 5

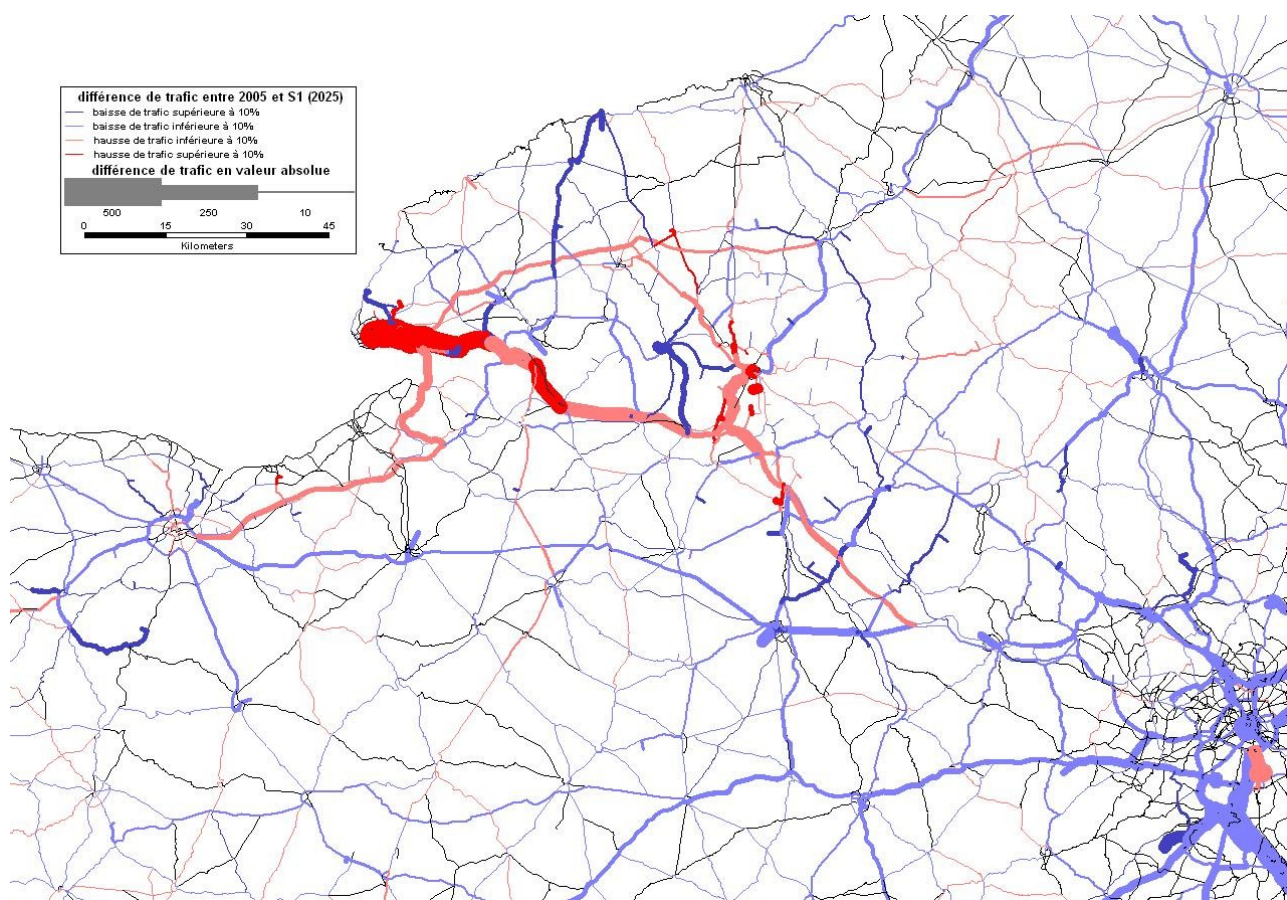
Analyse des résultats d'affectation

1 - Différence entre les scénarios et la situation actuelle, avant prise en compte de la génération des ports

1.1 - Généralités

Dans cette partie, on a cherché à isoler l'effet de hausse des trafics portuaires. Globalement, l'on constate des hausses ou des baisses de trafics faibles : pas plus de 20 % d'augmentation ou de diminution des trafics PL en 20 ans, et la plupart du temps ces écarts sont même inférieurs à 5 %. Ces augmentations sont donc beaucoup plus mesurées par rapport aux prévisions de croissance de l'instruction sur l'évaluation des projets routiers du ministère (qui prévoit environ 30 % de croissance des flux en 20 ans).

1.2 - Scénario 1



Carte 44 : résultat de l'affectation (scénario 1) par rapport au trafic 2005

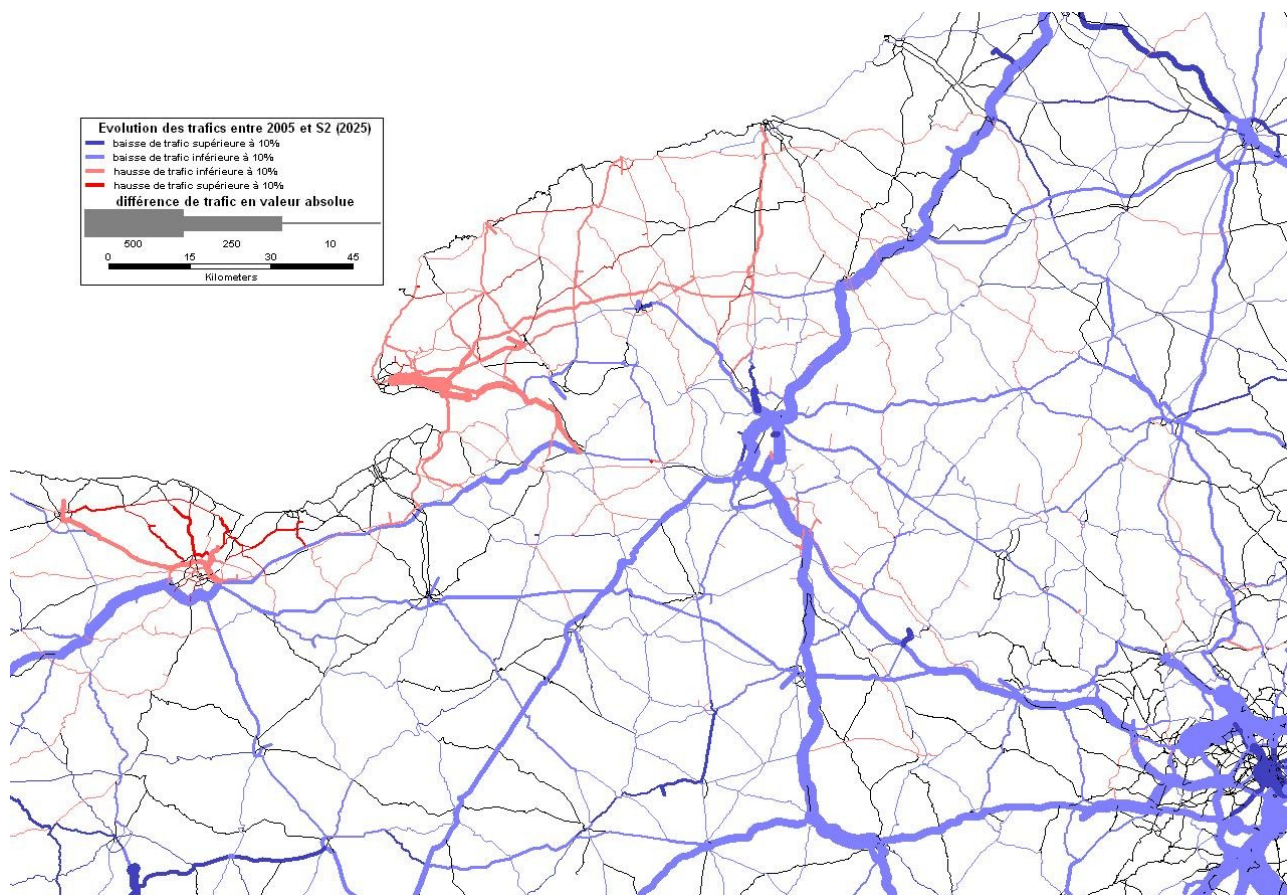
La croissance des flux à l'intérieur du tripôle Caen-Rouen-Le Havre ainsi que sur l'axe Le Havre-Rouen-Paris entraîne des trafics en hausse sur les axes structurants de ces relations, à savoir :

- A13 : +200 PL/jour au Sud de Rouen, +250 entre Rouen et la bifurcation avec l'A131, + 100 PL sur A13 à l'Est de Caen ;
- A131 : +250 à +400 PL/jour ;
- A29 à l'Est du Havre, et A150 et RD6015 au Nord de Rouen : +70 PL/jour ;
- Les ponts de Tancarville (+250 PL/jour) et de Normandie (+150 PL/jour).

Les pénétrantes du Havre (A131 et Boulevard industriel) pour les PL subissent la hausse de trafic la plus importante de ce scénario avec + 900 PL par jour (sur les deux axes en tout) environ.

Ailleurs, les flux sont en légère baisse (le plus souvent inférieurs à 5 %). La baisse des trafics dans la région parisienne est relativement importante en volume, mais en pourcentage, la baisse n'est pas plus forte qu'ailleurs.

1.3 - Scénario 2



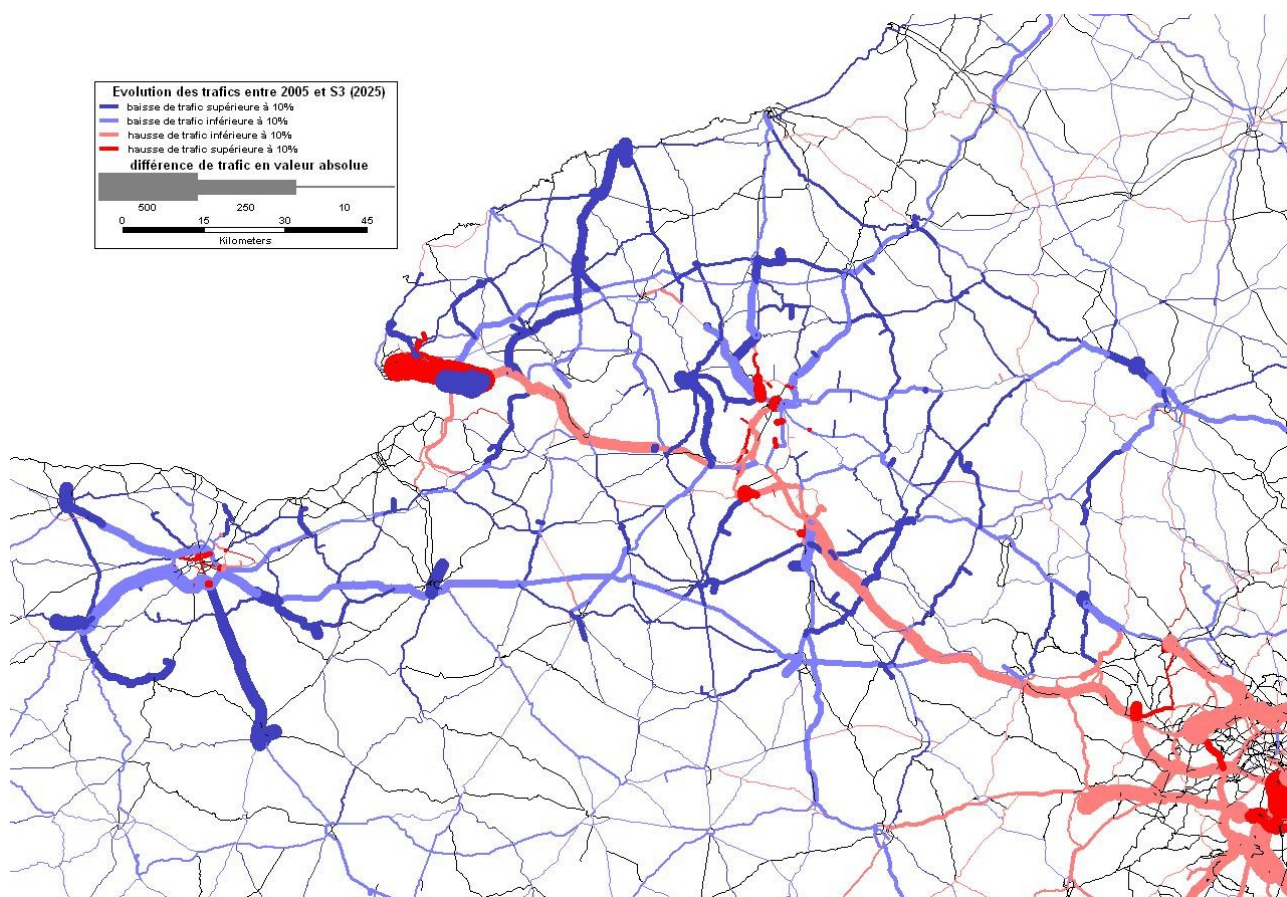
Carte 45 : résultat de l'affectation (scénario 2) par rapport au trafic 2005

On vérifie bien la baisse généralisée des trafics PL, à l'exception du littoral, prévue au paragraphe 3.2. Les écarts relatifs sont très limités, dans un sens comme dans l'autre (le plus souvent inférieurs à 5 %). La zone péri-urbaine située au Nord de Caen est la plus dynamique, avec des hausses de trafics comprises entre 10 et 20 %, mais sur des volumes de trafic initiaux faibles.

Voici quelques chiffres sur les axes structurants du secteur :

- +100 PL sur le BP Nord de Caen, +100 PL sur le pont de Tancarville et l'A131 ;
- +50 PL sur le pont de Normandie et l'A29 à l'Est du Havre ;
- -200 PL sur A28 au Nord de Rouen ;
- -100 PL sur A28 au Sud de Rouen ;
- -200 PL sur RN154 au Sud de Rouen.

1.4 - Scénario 3



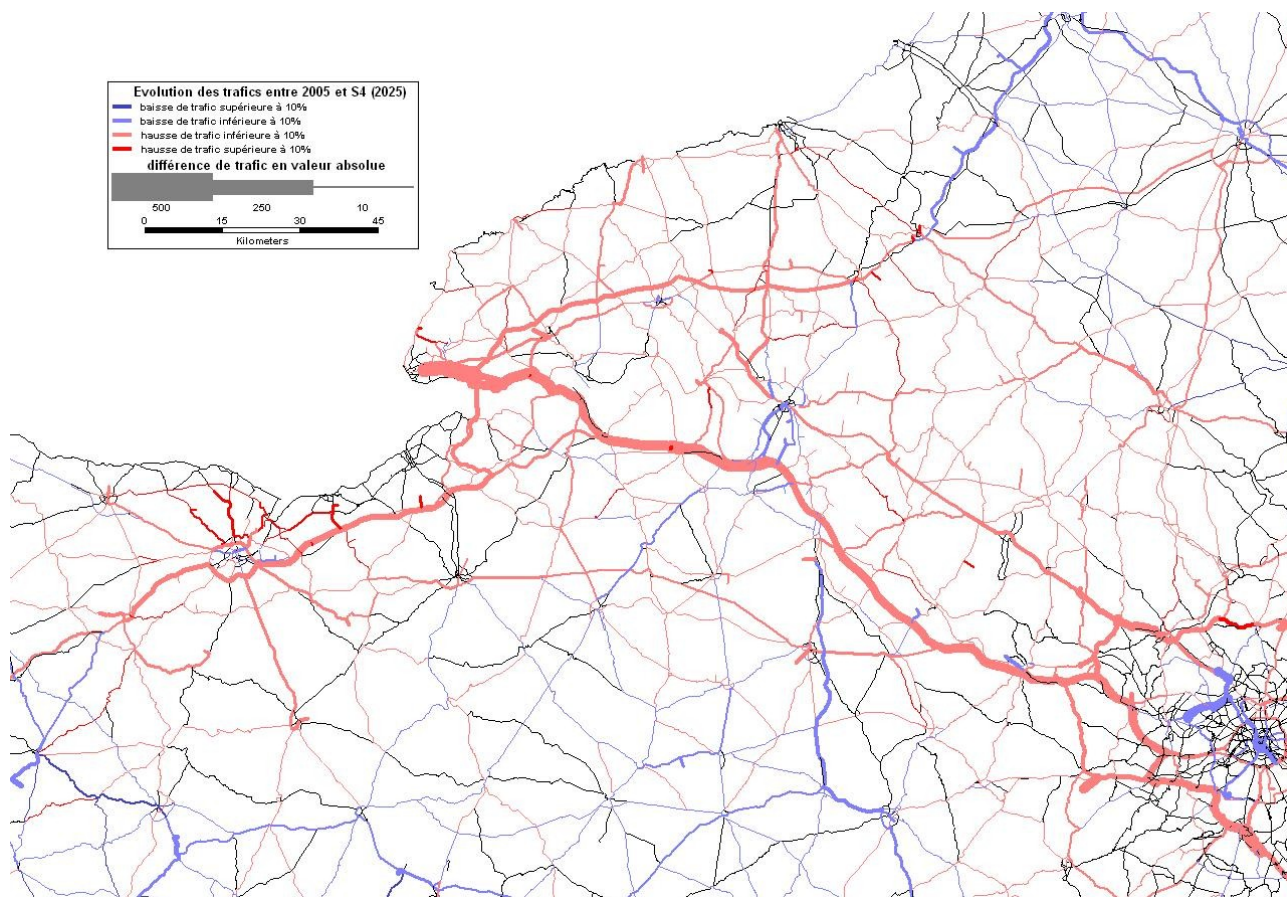
Carte 46 : résultat de l'affectation (scénario 3) par rapport au trafic 2005

Ce scénario montre d'importants contrastes par rapport aux autres scénarios. On observe à la fois une baisse relativement importante (souvent supérieure à 10 %) des flux centre vers la périphérie pour les agglomérations de Rouen, Caen et Le Havre (-250 sur A84 et A88 au Sud de Caen, -150 PL sur RN13 à l'Ouest de Caen, -150 à -200 PL sur A28 et A150 au Nord de Rouen, -100 PL sur A29 à l'Est du Havre), et une hausse loin d'être négligeable le long de l'axe Paris-Rouen-Le Havre (+ 200 à 250 PL sur A13 entre Paris et Rouen, + 150 PL sur le pont de Tancarville, et + 500 sur A131 à l'Ouest du pont de Tancarville).

Dans ce scénario les pénétrantes du Havre (A131 et le boulevard industriel) pour les PL subissent une importante hausse de trafic (750 PL par jour environ).

Les flux internes à l'Ile-de-France sont en hausse et contribueront à dégrader les conditions de circulation sur les voies rapides urbaines d' Ile-de-France, qui sont le plus souvent déjà concernées par des problèmes de congestion. Cependant, les hypothèses choisies sont probablement trop contraignantes pour pouvoir conclure à un risque d'étouffement réel.

1.5 - Scénario 4

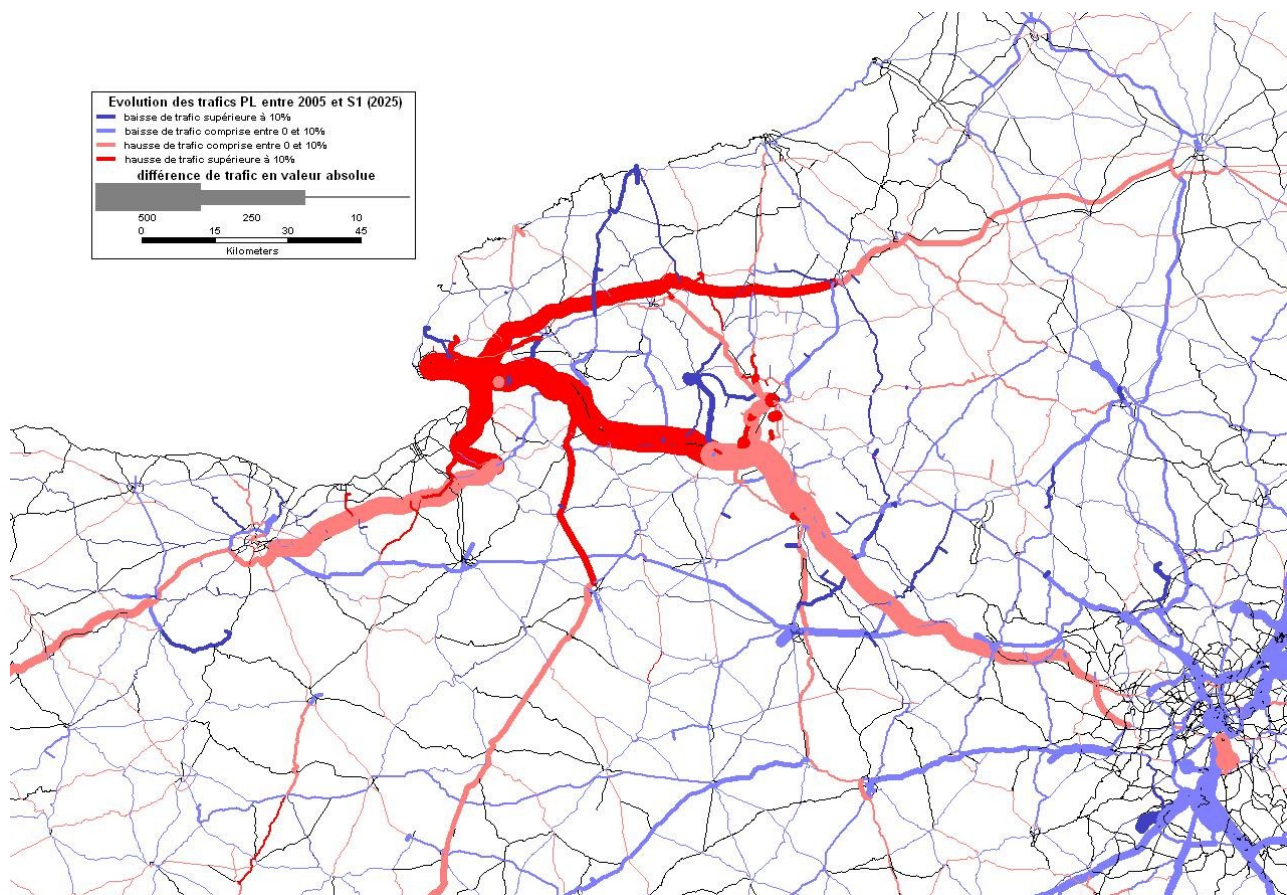


Carte 47 : résultat de l'affectation (scénario 4) par rapport au trafic 2005

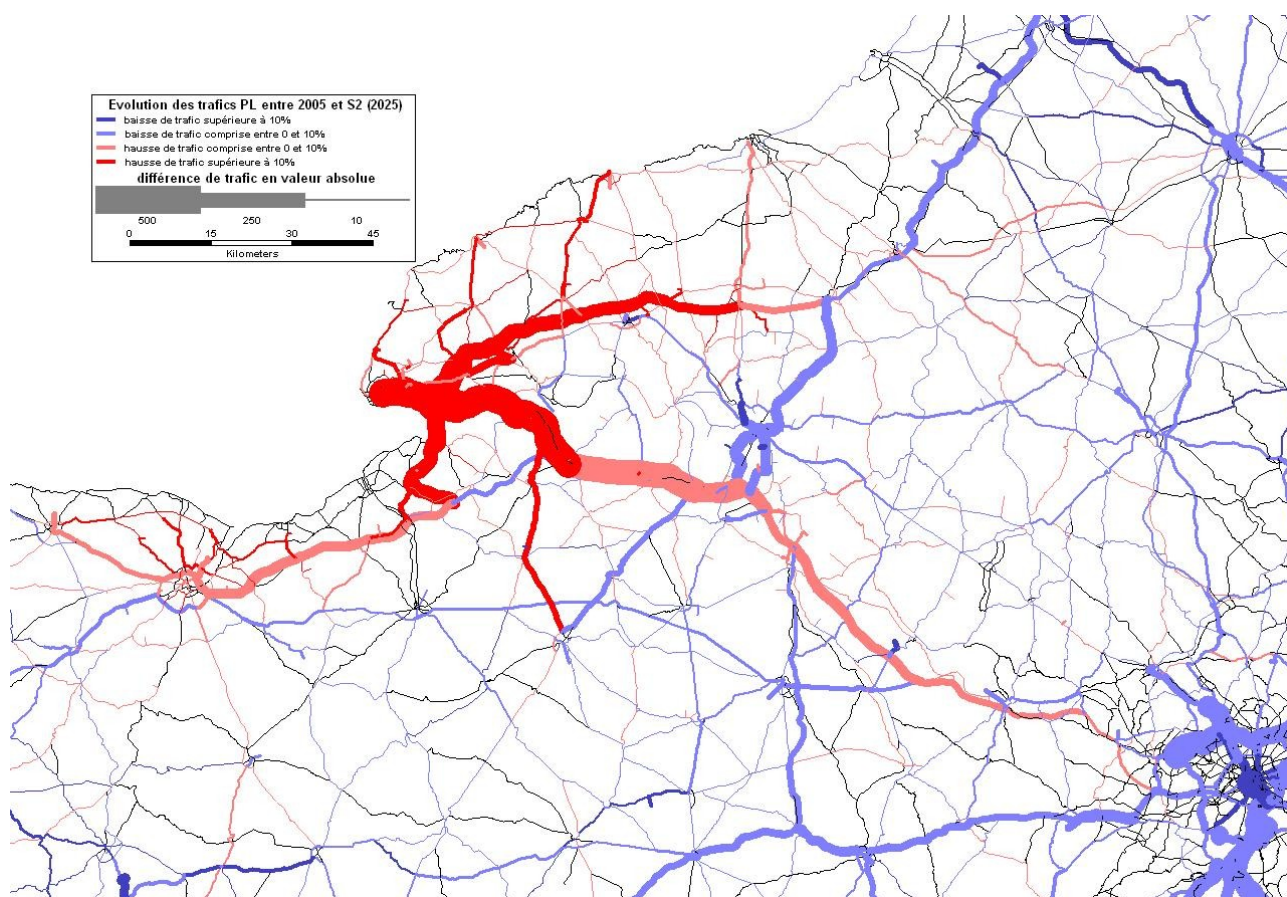
La hausse généralisée des flux de PL issue de ce scénario se traduit par des croissances relatives assez mesurées (inférieures à 5 %). Les infrastructures qui subissent la croissance la plus importante en volume sont l'A13 (+150 à +200 PL selon les sections), l'A131 et le pont de Tancarville (+200 PL), ainsi que les pénétrantes du Havre (A131 et le boulevard industriel), avec environ 300 PL par jour supplémentaires.

2 - Différence entre les scénarios et la situation actuelle, après prise en compte de la génération des ports

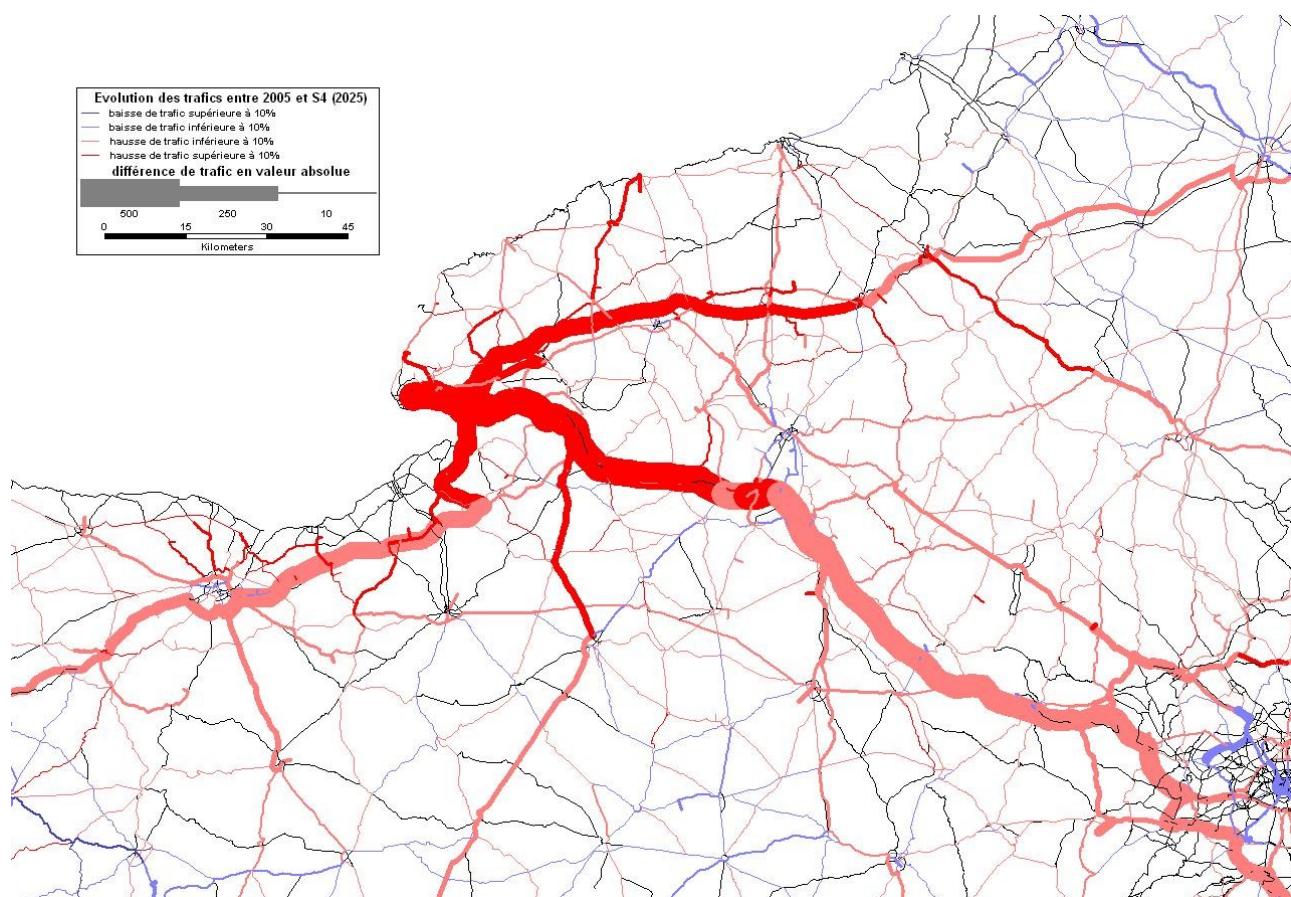
La prise en compte de la génération des ports de Rouen et du Havre (voir 2.1.8 -Le cas particulier des ports page 81) entraîne encore davantage de flux sur les autoroutes du secteur (A13, A29, A28, A150). Les résultats obtenus sont les suivants :



Carte 48 : résultat de l'affectation (scénario 1 – avec prise en compte des ports) par rapport au trafic 2005



Carte 49 : résultat de l'affectation (scénario 2 – avec prise en compte des ports) par rapport au trafic 2005



Carte 50 : résultat de l'affectation (scénario 4 – avec prise en compte des ports) par rapport au trafic 2005

La prise en compte de la croissance des flux portuaires a tendance à «gommer» les différences entre scénarios sur les infrastructures structurantes du secteur (A13, pont de Tancarville, A29).

Globalement, la croissance des flux sur l'A13 est progressive entre Paris et l'A131 (+ 450 à +700 PL/jour pour le scénario 1, +150 à +450 PL / jour pour le scénario 2, et + 450 à +600 PL par jour pour le scénario 4), et plus limitée à l'Est de Caen (+200 PL pour le scénario 2 à 350 PL pour le scénario 4). La hausse de trafic sur le pont de Tancarville est comprise entre 700 PL (scénario 2) et 850 PL (scénario 1), (soit 20 à 25 % d'augmentation), celle sur le pont de Normandie entre 350 à 450 PL par jour, et celle sur A29 +400 à +450 PL.

Du fait de la croissance des flux générés par le port du Havre, on remarque que dans ces 3 scénarios les pénétrantes Est du Havre (A131 et le boulevard industriel) subissent une hausse de trafic très importante, comprise entre 1 850 (scénario 2) et 2 300 (scénario 1) PL supplémentaires par jour. L'A28 et l'A29 subissent également des hausses de trafic compensées en partie ou en totalité (selon les sections) par la baisse globale (et tendancielle) des flux en rase campagne, en particulier dans le scénario 2.

La croissance des flux générés par le port de Rouen entraîne une hausse de trafic sur la RN154, mais au final la croissance de flux subie par la RN154 reste inférieure à 10 % car elle est compensée en partie voire en totalité par la baisse tendancielle des flux.

Pour le scénario 3, la relocalisation des activités a conduit à ne pas prendre d'hypothèse sur la croissance des flux générés par les ports. Or, nous avons vu que les hypothèses prises sur l'évolution de la population aboutissent à une baisse globale des flux de marchandises au sein de la Baie-de-Seine, à l'exception de l'axe Paris/Le Havre (A13 et A131) et surtout de l'Ile-de-France. Pour les pénétrantes du Havre, l'hypothèse de relocalisation des activités industrielles ne compense qu'en partie les hypothèses de croissance spécifique des ports du Havre et de Rouen.

3 - Enseignements locaux de la modélisation

Dans la mesure où nous avons construit plusieurs scénarios de prospective très différenciés afin de s'assurer qu'ils encadreront la réalité future, certaines conclusions ne valent que pour un scénario donné. Toutefois, des tendances communes à toutes les scénarios existent, et nous allons les analyser.

3.1 - L'A13

Les scénarios qui prévoient un recentrage des activités sur les grands centres urbains (scénarios 1 et 3) tendent à plus charger l'A13, comparativement aux autres infrastructures. Dans les scénarios prévoyant un éclatement des activités (scénarios 2 et 4), avant prise en compte de la génération des ports, l'A13 suit la tendance générale, à la baisse (scénario 2), ou à la hausse (scénario 4).

Avec prise en compte des prévisions de croissance des ports (scénarios 1, 2 et 4), c'est-à-dire pour les scénarios «définitifs», l'A13 est impactée à la hausse, avec une croissance qui est progressive depuis Paris jusqu'au Havre, de + 150 à + 450 PL / jour au niveau de Mantes-La-Jolie jusqu'à + 450 à + 700 PL/jour sur la section entre Rouen et l'A131. Dans le scénario 3, où le surplus de croissance des ports n'est pas pris en compte du fait de la relocalisation de certaines activités, l'A13 subit cependant une croissance comprise entre 200 et 250 PL entre Mantes-La-Jolie et le Havre.

Ainsi, dans tous les scénarios, l'A13 subit systématiquement une hausse de trafic, mais qui toutefois reste relativement modérée et ne devrait pas bouleverser les conditions de circulation sur cette infrastructure.

3.2 - Les pénétrantes du Havre (A29, RD6015, A131, boulevard industriel)

On prévoit de fortes augmentations sur les pénétrantes dans le scénario 3, du fait de la relocalisation de certaines activités. Avec prise en compte des prévisions de croissance des ports (c'est-à-dire sans relocalisation des activités mais avec une hausse des importations via le port, ce qui correspond aux scénarios 1, 2 et 4) les flux explosent.

Ainsi l'augmentation est intense dans les quatre scénarios, et les pénétrantes Est du Havre seront fortement impactées, en particulier l'A131 et le boulevard industriel qui desservent la zone industrialo-portuaire. La croissance des flux sur ces deux pénétrantes (en tout) est comprise entre 750 PL/jour pour le scénario 3 et environ 2 000 PL/jour pour les 3 autres scénarios, ce qui peut amener à se questionner sur la capacité de ces infrastructures à absorber cette forte croissance de la demande qui est bien un invariant des quatre scénarios.

Le pont de Tancarville est plus ou moins fortement impacté, entre 150 PL par jour supplémentaires dans le scénario 3 et environ 800 PL supplémentaires dans les autres scénarios. Si dans le scénario 3 on imagine difficilement cette hausse de trafic PL poser des difficultés, dans les autres scénarios la croissance est supérieure à 20 %, et la question du dimensionnement de cette infrastructure (en particulier au niveau du rétrécissement en amont du pont de Tancarville côté Nord) pour faire face aux prévisions de croissance du port se pose.

Les trafics PL sur les autres pénétrantes du Havre, à savoir l'A29, le pont de Normandie, ou la RD6015, sont en forte hausse dans les scénarios où les prévisions de croissance du port ont été prises en compte, et stables voire en baisse dans le scénario 3. Toutefois, au vu des niveaux de trafics actuels et des capacités de ces infrastructures, les éventuelles croissances de trafic PL pourront être absorbées sans difficulté, y compris avec les hypothèses de croissance du port.

3.3 - Autres infrastructures routières du corridor Baie de Seine / Ile de France

Pour les autres infrastructures de la zone étudiée, on ne constate pas d'invariant pour les quatre scénarios.

On notera simplement que les trafics sur les pénétrantes (ou même les voies internes) de Rouen sont en forte hausse dans les scénarios 1 et 3, et que le littoral est assez fortement impacté (surtout au Nord de Caen) dans les scénarios 2 et 4, ce qui pourrait engendrer des difficultés si toutefois ces scénarios se dégageaient parmi les futurs possibles.

Ces phénomènes n'étant pas des invariants pour les quatre scénarios, il s'agit donc simplement de points d'attention, à mettre au second plan par rapport aux autres voiries où les phénomènes sont systématiques et donc les risques plus élevés.

Chapitre 6

Enseignements méthodologiques

1 - Les apports du modèle

1.1 - La reconstitution des flux locaux

Ce modèle présente un intérêt certain pour estimer les flux PL locaux qui ne peuvent pas être enquêtés. En effet, les enquêtes de circulation classiques permettent de constituer des matrices qui comportent de nombreux trous car l'on se concentre généralement sur la voirie structurante et sur les principales coupures du secteur étudié. L'outil développé est donc une opportunité très intéressante pour améliorer les matrices (combler les vides) poids-lourds issues d'enquêtes. La facilité avec laquelle le calage de l'affectation a été réalisé tend à le démontrer.

Utiliser des matrices plus complètes en entrée d'un modèle d'affectation permet d'éviter le préchargement du réseau avec les flux locaux qui ne sont pas dans la matrice, et donc une meilleure reconstitution des phénomènes de congestion (par l'intermédiaire des courbes débit-vitesse) en situation actuelle. De plus, en scénario futur, on maîtrise mieux l'évolution de ces flux locaux puisque l'on en connaît la nature et la structure, alors qu'il est bien souvent difficile de formuler des hypothèses objectives sur l'évolution de ces préchargements.

Un tel modèle restant relativement rapide à mettre en œuvre, il pourrait donc, sans difficulté, être adapté sur des territoires autres que le corridor Baie-de-Seine/Ile-de-France afin de reconstituer des flux PL locaux qui n'ont pas été enquêtés.

1.2 - La finesse du zonage

Comme vu précédemment, en génération les données SITRAM ne sont pas fiables à un niveau plus fin que la zone d'emplois. Mais la constitution du modèle de génération/distribution à la zone d'emplois et la technique de désagrégation sur un zonage plus fin de la matrice obtenue semble donner des résultats corrects (voir exemple des zones d'emplois de Rouen et de Lillebonne, Tableau 17 et Tableau 18) : il est donc tout à fait envisageable de travailler sur un zonage très fin, ce que les enquêtes routières ne permettent pas toujours du fait de problèmes de fiabilité statistique des données.

Le fait de disposer de données à ce niveau de zonage permet d'améliorer considérablement la qualité du modèle d'affectation grâce à une reconstitution plus fine des alternatives pour chaque couple origine/destination.

Au final, pour mettre en œuvre ce modèle sur un autre territoire que la Baie-de-Seine, nous recommandons donc de travailler avec ces deux niveaux de zonage pour assurer à la fois fiabilité statistique et finesse de description des phénomènes.

Pour mettre en place cette démarche sur un autre secteur d'étude, il suffit donc :

- . de constituer un zonage fin sur lequel on dispose bien de données de population et d'emplois (par type) détaillées. Ce zonage fin doit être compatible avec les zones d'emplois ;
- . de choisir un zonage agrégé adapté au secteur d'étude, compatible avec les zones d'emplois, et suffisamment agrégé pour disposer de données fiables statistiquement (voir annexe sur la fiabilité des données SITRAM).

Pour plus de détails sur le principe de constitution d'un zonage et le travail sur deux niveaux de zonage, le lecteur se reportera au guide «Calage et validation des modèles de trafic - Techniques appliquées à l'affectation routière interurbaine» du Sétra..

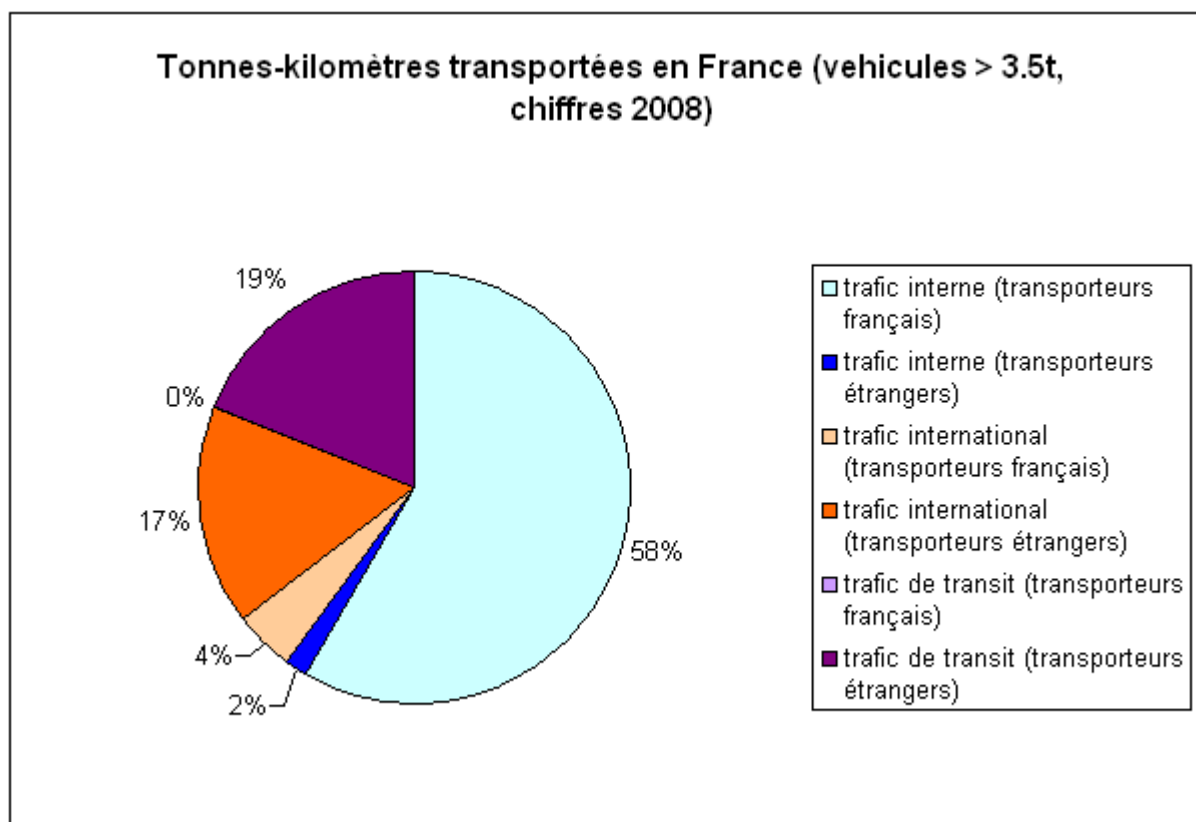
2 - Améliorations possibles pour le calage du modèle

2.1 - Analyser de manière plus fine les données de génération

Dans cette étude, les zones portuaires de notre périmètre d'étude et certaines zones d'Ile-de-France ont été retirées des données de base utilisées pour le calage des paramètres de génération, car celles-ci ont été jugées atypiques du point de vue de la génération (emplois dans les sièges sociaux comptés comme emplois industriels, emplois de manutention dans les ports non différenciés de la logistique classique, ...). D'une part, certaines zones produisent des flux très particuliers qui doivent être traités séparément (exemple des flux portuaires), et d'autre part les flux ne sont pas toujours fiables statistiquement. De manière plus systématique que ce qui a été fait ici, il serait donc intéressant pour chaque zone de faire un travail d'analyse sur les choix des flux que l'on conserve ou non pour calibrer la génération.

2.2 - Prendre en compte les flux internationaux

En tonnes-kilomètres, les flux internationaux (flux d'échanges et de transit) représentent une part importante des flux circulant en France. Ces transports sont aujourd'hui en grande majorité (en particulier pour le transit) effectués par des transporteurs étrangers, vu la faible compétitivité du pavillon français.



Graphique 5 : répartition du trafic routier en France

Ces flux internationaux n'ont pas été pris en compte dans notre modèle. D'une part, en ce qui concerne les tonnes, que génère notre modèle, le poids des échanges internationaux est beaucoup plus modeste ; d'autre part, l'enquête aux frontières de 2004, notamment, a montré que le transit et les flux d'échanges avec la France, en provenance ou direction de l'Europe du Sud, ne concernaient pas la Baie-de-Seine, mis à part, à la marge de la zone Baie-de-Seine, un trafic Nord-Sud fort contournant Paris par l'Est. Il est à noter également que le transit longue distance sur l'A29 est relativement peu important.

Vu ces éléments, nous avons donc choisi d'ignorer ces flux internationaux, dont les données²³ ne sont pas disponibles à une échelle fine. Toutefois, leur prise en compte dans le futur pourrait améliorer la précision de la génération, et s'imposera dès que l'on quittera le périmètre de la Baie-de-Seine.

La problématique sera que ces flux ne sont pas disponibles à l'échelle de la zone d'emplois. La solution pourrait être d'agréger selon un autre découpage les parties du territoire qui reçoivent le plus de flux internationaux (on pense aux zones frontières). A minima, les données de flux internationaux pourraient servir à ne caler les paramètres de génération que sur les zones dont les échanges avec l'étranger sont très minoritaires (en termes de tonnage), rejoignant ainsi les préconisations du 2.1 - Analyser de manière plus fine les données de génération.

2.3 - Utiliser la méthode du maximum de vraisemblance pour calibrer la génération

En continuité du point 2.1 l'amélioration de la précision de la génération invite à repenser la méthode utilisée pour le calage.

Ici, le calage a été effectué à l'aide de simples régressions linéaires. Cette méthode ne prend en compte que très partiellement la fiabilité statistique des données d'entrée : le calage va s'effectuer en priorité sur les gros tonnages (or ce sont les données les plus fiables statistiquement), mais ce n'est pas totalement satisfaisant d'un point de vue statistique. En effet une observation peut signifier un tonnage redressé assez variable (voir tableau 20 en annexe).

Dans ce contexte, utiliser la méthode du maximum de vraisemblance pour caler la génération permettrait de prendre en compte la variabilité de la fiabilité des données d'entrée. Cette méthode consisterait, pour chaque valeur estimée par le modèle (donc pour chaque zone), à calculer la probabilité que la valeur donnée par SITRAM soit comprise dans l'intervalle de confiance qui encadre la valeur estimée par modèle. La fonction de vraisemblance serait construite comme le produit de ces probabilités, l'objectif étant de la maximiser.

L'utilisation de cette méthode permettrait d'analyser les corrélations entre variables explicatives et de mieux différencier les variables, offrant ainsi davantage de robustesse au modèle constitué.

Cependant, pour calculer cet intervalle de confiance, il faut connaître l'écart-type des données de génération, pour chaque zone. Or, pour cela, il est nécessaire de disposer de données désagrégées et non agrégées comme c'est le cas ici. Bien que la finalité de la demande ne soit pas d'obtenir des données sur des transporteurs particuliers mais bien d'améliorer la robustesse des modèles construits, il est important de souligner que ces données sont difficiles à obtenir pour des problèmes de confidentialité, et sont de plus difficiles à traiter à l'échelle de la France, vu le nombre de données (environ 700 000 observations sur 3 ans).

2.4 - Réévaluer la pertinence du modèle de véhicule

Il serait intéressant d'étudier la stabilité géographique et temporelle des coefficients utilisés pour le modèle de véhicule. En effet, une éventuelle disparité spatiale de ces coefficients pourrait expliquer certains résultats locaux peu compatibles avec les données à notre disposition. On peut également suspecter que le parc utilisé et le remplissage des véhicules ne sont pas constants dans le temps.

23 Qu'on peut retrouver en agrégeant les données des enquêtes TRM des autres pays de l'Union Européenne.

3 - Pistes d'améliorations du modèle de génération

3.1 - Limites de la démarche utilisée

3.1.1 -Modèle mono-modal

Le modèle développé sur le territoire Baie-de Seine / Ile-de-France est un modèle routier uniquement. Comme indiqué précédemment, ce choix a été fait en tenant compte de deux constats. D'une part le mode routier est depuis 30 ans le mode largement dominant en France, pour le transport de marchandises. Au niveau du territoire d'études, on observe effectivement cette prédominance du mode routier. D'autre part le manque de données pour les modes ferroviaire et fluvial ne permettent pas de construire un modèle multimodal fiable. Toutefois, dans la logique actuelle de développement des modes alternatifs à la route et dans une perspective de test de politiques publiques visant à augmenter le report du trafic routier vers ces modes alternatifs, la construction d'un modèle multimodal de marchandises semble être incontournable à moyen terme.

3.1.2 -Causalité entre emplois et tonnage

Les résultats de la modélisation, parfois peu compatibles avec les évolutions attendues, conduisent à examiner ici le cas de certaines marchandises spécifiques : les vrac. Si la distribution de marchandises de ces filières est bien décrite par le modèle, la génération première n'est pas très satisfaisante, notamment dans une optique évolutive (la fiabilité statistique de la génération à l'instant t, elle, est correcte) : d'une part, elle dépend d'emplois peu nombreux et très spécialisés (emplois dans les dépôts pétroliers, dans les carrières), dont la productivité en tonne est très variable, d'autre part le positionnement de ces emplois dépend de logiques très particulières (épuiement des carrières, politique de fermeture des dépôts, ...). Enfin la production de ces marchandises est liée à des facteurs d'évolution de la demande (évolution de la circulation automobile, part des différents types de chauffage, état du marché de l'immobilier) et bien moins à une tendance d'évolution de l'offre par une filière (comme pour le cas du textile, par exemple), car la concurrence internationale est moindre.

3.1.3 -Classification NST et classification des emplois

La partie statistique de l'étude (voir annexe) le démontre : travailler au niveau local sur des classes NST rares a peu de sens statistiquement. Il apparaît donc nécessaire de limiter les analyses locales sur un zonage fin aux 4 principales NST, pour lesquelles l'on dispose de suffisamment d'informations. Par ailleurs, il semble intéressant, dans le cadre des 4 principales NST, d'essayer de dépasser les classes NST, trop hétérogènes en termes de marchandises représentées : le poids par envois, les types de flux varient fortement selon les types de marchandises, notamment. De plus, les besoins et les productions de chaque région sont souvent très diversement répartis au sein d'une même classe NST, par exemple entre une région plutôt céréalière (région Centre) ou une région plutôt portée sur l'élevage (région Bretagne).

3.1.4 -Logique gravitaire et description de la logistique

Aujourd'hui, il est souvent constaté que les flux transitent par des zones logistiques et ne circulent pas directement entre le producteur et le consommateur, y compris quand ce consommateur est intermédiaire. De ce fait, la logique gravitaire est souvent peu marquée : le positionnement de la zone logistique tient compte de la structure de l'ensemble des flux y transitant mais aussi de problématiques non liées au transport (foncier, présence locale importante ou non de main d'œuvre, ...). Par ailleurs, on note que le transport ne représente, dans de nombreux cas, qu'une part marginale du coût final du produit : son optimisation n'est donc plus prioritaire, par rapport à d'autres aspects logistiques : niveau de stock, sécurisation des approvisionnements, ...Enfin, les données d'emplois INSEE de la logistique sont difficilement utilisables : d'une part l'activité logistique est souvent encore internalisée ou masquée par d'autres activités, d'autre part ces emplois logistiques sont souvent très spécialisés, ce qui rend plus incertaine l'attribution de coefficients de génération.

3.2 - Approches proposées pour répondre aux limites précédentes

3.2.1 - Nœuds intermodaux

Comme rappelé au point 3.1.1, le modèle décrit dans le présent rapport est uniquement routier. Le trafic des autres modes est donc une donnée exogène du modèle. A moyen terme, la construction d'un modèle multi modal de marchandises serait souhaitable. A plus court terme, il pourrait être envisagé de travailler plus spécifiquement sur les nœuds intermodaux. A titre d'exemple, il est possible d'envisager qu'un changement de la part modale du ferroviaire influe sur le trafic de pré- et post-acheminement aux alentours des plateformes intermodales. De même, il pourrait être intéressant de réaliser un focus sur le coût d'accès aux nœuds intermodaux.

3.2.2 - Développer des modèles spécifiques aux filières vracs

Au paragraphe précédent, nous avons abordé le lien de causalité entre emplois et tonnages, concernant les vracs. Il est proposé de réaliser des sous-modèles spécifiques, et pour cela de réfléchir à une démarche en trois parties :

- identification des sites générateurs ;
- identification des logiques logistiques ;
- identification des facteurs de la demande.

Pour ces matières pondéreuses, il est sans doute nécessaire de tenir compte des autres modes de transports que l'on peut approcher en recensant les sites disposant d'un accès direct aux modes alternatifs (pour ce type de marchandises à faible valeur ajoutée, une rupture de charge supplémentaire est en général un facteur très pénalisant).

Cette approche semble possible pour les vracs, car leur logistique peut a priori être expliquée de façon relativement simple, car les produits concernés sont moins divers, notamment en termes de densité. Pour les vracs, le diagramme classique économique de l'aire de chalandise fonctionne : l'aire de chalandise d'une entreprise dépend de son coût de production (qui dépend notamment de son accès aux modes alternatifs pour son approvisionnement), de son coût de transport (qui dépend notamment de son accès aux modes alternatifs pour ses livraisons), et de la position et des caractéristiques de ses concurrents.

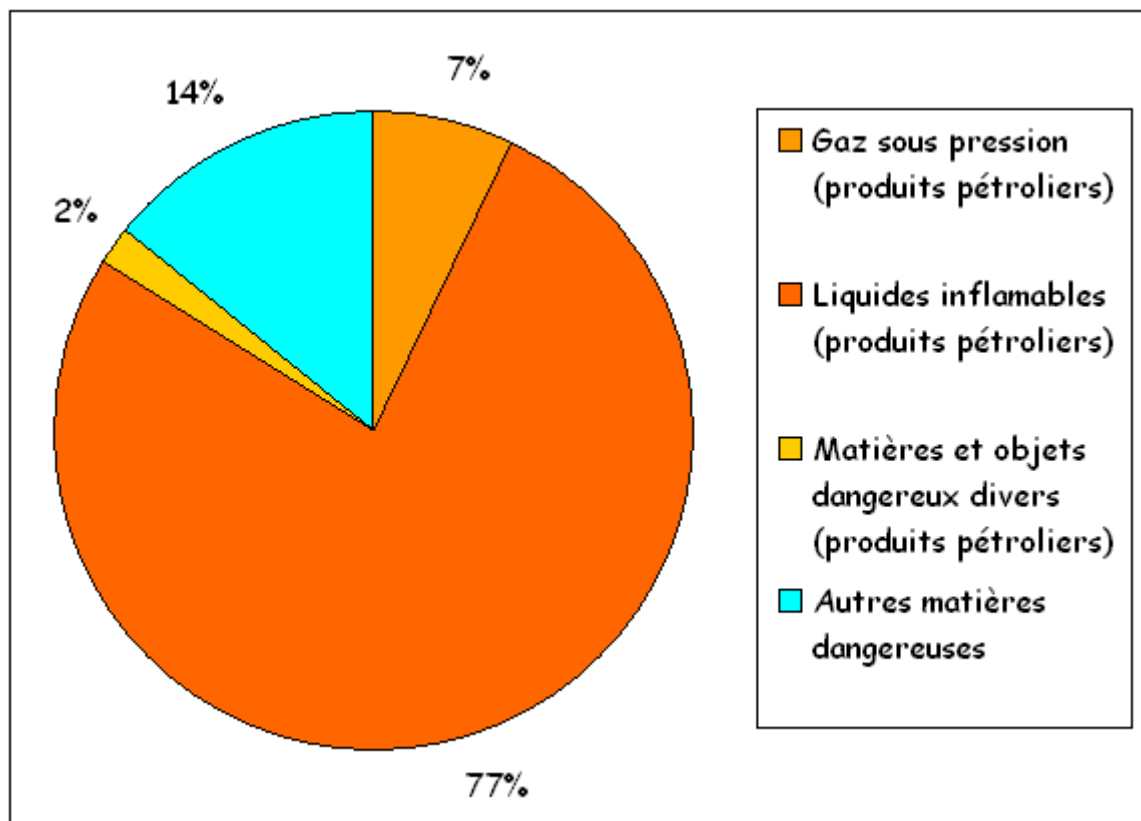
Il semble intéressant de développer cette approche, pour deux types de marchandises en particulier :

- les matériaux de construction (NST 6) ;
- les hydrocarbures (NST 3).

Les premiers représentent à eux seuls 40 % des tonnages transportés, leur évolution n'a pu être décrite correctement dans ce rapport²⁴, et les seconds représentent une faible part (3 à 4 %) des tonnages transportés, avec cependant plus de 85 % des matières dangereuses transportées (voir graphique page suivante²⁵).

24 L'industrie d'extraction est liée aujourd'hui à de forts tonnages de NST 6, mais le fait que cette industrie soit sur le déclin en France ne signifie pas que l'on va moins consommer de matériaux de construction.

25 Les «matières et objets divers (produits pétroliers)» sont essentiellement constitués des matériaux de type «liant routier» circulant sous haute température.



Graphique 6 : part de la NST 3 (les produits pétroliers) dans l'ensemble des transports circulant sous le régime des TMD (tonnage 2008, source SOEs)

3.2.3 - Utilisation plus fine des données de transports, pour les produits agricoles

Au point 3.1.3, nous avons questionné la pertinence d'utiliser les données SITRAM plus finement, au niveau des groupes, et non plus des chapitres, de la nomenclature NST. Cette approche n'est toutefois pas adaptée à la classe 9, pour laquelle on a généralement peu d'information : l'essentiel des tonnes transportées est classé dans la catégorie «groupage». Par contre, cette approche paraît particulièrement intéressante pour les NST 0 et 1 (produits agricoles et agro-alimentaires), classes pour lesquelles l'étape de génération a donné des résultats médiocres. Toutefois, on se heurtera vite à la fiabilité statistique des extractions.

Les NST 0 et 1 peuvent être décomposées en sous-classes suivantes :

Chapitre	Libellé du chapitre	Groupe	Libellé du groupe	tonnes	ratio groupe\chapitre	Nombre d'observations
0	Produits agricoles et animaux vivants	0	Animaux vivants	10 757 919	5%	1 361
		1	Céréales	64 425 839	30%	4 452
		2	Pommes de terre	4 108 148	2%	441
		3	Autres légumes frais ou congelés et fruits frais	70 961 388	33%	15 561
		4	Matières textiles et déchets	1 984 075	1%	231
		5	Bois et liège	38 813 282	18%	4 247
		6	Betteraves à sucre	11 815 140	5%	292
		9	Autres matières premières d'origine animale ou végétale	14 599 416	7%	1 439
1	Denrées alimentaires et fourrages	11	Sucre	2 660 662	1%	335
		12	Boissons	36 723 829	19%	4 827
		13	Stimulants et épicerie	35 099 521	18%	6 804
		14	Denrées alimentaires périssables ou semi périssables et conserves	51 239 300	26%	8 610
		16	Denrées alimentaires non périssables et houblon	11 086 020	6%	2 065
		17	Nourritures pour animaux et déchets alimentaires	50 609 958	26%	5 728
		18	Oléagineux	8 866 907	5%	1 013

Tableau 33 : décomposition des NST 0 et NST 1 en groupe (données 2005)

Attention, les ratios ci-dessus n'ont été calculés que sur une année, alors que des paramètres conjoncturels interviennent fortement (notamment concernant les céréales).

Les groupes représentant plus de 15 % des flux (en tonnage) sont ici représentés de couleur verte.

Pour la NST 0, trois groupes représentent environ 80% des flux :

- les céréales ;
- le frais ;
- le bois.

Pour la NST 1, quatre groupes représentent environ 90% des flux :

- les boissons ;
- l'épicerie ;
- les denrées alimentaires périssables et les conserves ;
- la nourriture pour animaux et les déchets alimentaires.

Cette décomposition plus fine imposera probablement à travailler plus finement, en termes :

- de décomposition des emplois pour la génération ;
- de distribution ;
- de modèle de véhicule.

3.2.4 - Décrire plus profondément les flux liés à des logistiques complexes

Concernant cette partie, répondant au point 3.1.4, nous n'avons que des pistes encore incertaines.

Il pourrait être intéressant d'analyser finement l'enquête DADS, qui peut servir à identifier l'emploi logistique dans les entreprises, mais cette enquête n'est pas exhaustive (échantillon au 1/12ème). Cela permettrait toutefois d'identifier la logistique internalisée, filière industrielle par filière industrielle, et d'envisager une description plus fine de la génération de la NST 9.

A plus long terme, il paraît prometteur de chercher à développer un modèle spécifique de ces flux qui transitent par des zones logistiques. Une source de données comme l'enquête ECHO, qui porte sur l'ensemble de la chaîne logistique, concernant une sélection de transports effectués par des entreprises représentatives de l'ensemble des filières, pourrait servir de base, et permettre de calibrer le modèle au niveau national (l'enquête ECHO n'est conçue pour n'apporter de l'information fiable statistiquement qu'à ce niveau).

Il pourrait ainsi être intéressant de déterminer une typologie de flux logistiques (flux internes aux entreprises, flux en direction de la distribution, ...), et d'évaluer en fonction de cette typologie le nombre moyen (et l'écart-type) de transports intermédiaires par des centres logistiques.

4 - Retour sur l'utilisation du modèle en prospective

4.1 - Volume global de transport peu satisfaisant

Sur les dernières années, on constate que les tonnages de marchandises transportées, la valeur moyenne des tonnes générées, et la productivité des emplois augmentent, alors que le nombre d'emplois industriels diminue. Ces évolutions sont représentées dans le Chapitre 4. Cependant, alors que l'on pourrait s'attendre à ce que les tonnages transportés évoluent comme la résultante, du nombre d'emploi et de leur productivité, ce n'est pas le cas. En tendance, les tonnages totaux produits par les emplois industriels diminuent, alors que les tonnages transportés augmentent. C'est le signe que notre approche explique, de façon incomplète, la génération de marchandises. Nous avons pris comme hypothèse que la génération de tonnage par l'industrie était représentative de l'évolution globale des flux de marchandises, cette hypothèse semble devoir être abandonnée.

Plusieurs explications peuvent être avancées :

- les industries ne génèrent pas uniquement des produits valorisables, et cette part de déchets peut augmenter (en proportion des tonnages produits) ;
- les importations augmentent ;
- les activités de service (et notamment la logistique) génèrent des tonnages croissants. Or, pour la logistique, faute de données de productivité, nous avons opté pour une tendance d'évolution des tonnes transportées par emploi constante, ainsi qu'une tendance d'évolution de l'emploi constante, ce qui ne représente pas l'évolution réelle.

Cependant, les explications citées paraissent peu à même d'expliquer l'évolution tendancielle de la NST 0, par exemple.

Faute de pouvoir évaluer de façon complète ces paramètres, il paraît plus judicieux de corriger les résultats pour retrouver l'évolution tendancielle des tonnages, ce qui peut être effectué en appliquant un coefficient correcteur aux matrices de distribution, afin de retrouver les chiffres du tableau 18. On gardera toutefois en mémoire que cette tendance d'évolution n'est pas forcément pérenne.

4.2 - Construction des scénarios

4.2.1 - Retour sur les scénarios utilisés

Les scénarios ont été construits à partir d'une réflexion collégiale de grande qualité. Toutefois, la transcription en évolutions quantifiées de ces réflexions est nécessairement réductrice.

Le premier objectif était d'avoir des scénarios contrastés, représentant un éventail de futurs possibles. Cet objectif est atteint. Toutefois, des questions se posent concernant l'évolution locale de la population, qui nous sert à différencier localement les scénarios :

- les hypothèses prises (+10 % pour tel type de commune dans tel scénario) sont simplistes ;
- des questions se posent sur la relation entre évolution de la population et celle de l'emploi industriel, notamment dans un contexte de vieillissement de la population,
- la structure de la Baie-de-Seine rend l'exercice délicat, en raison du poids de Paris et de sa région. Ceci est lié au fait que l'on raisonne à population totale constante, augmenter la population totale de Paris tend à imposer des baisses fortes aux autres régions de la Baie-de-Seine (scénario 3).
- Dans l'avenir, il sera sans doute préférable :
- de modéliser à part l'évolution démographique de la région parisienne, qui influe l'ensemble de la France ;
- de prévoir une modélisation locale d'évolution de l'emploi différente de celle de la population ;
- de mieux travailler les hypothèses locales d'évolution.

4.2.2 - Pistes d'amélioration des scénarios

Dans l'avenir il serait intéressant de prendre en compte, pour une prospective à moyen terme des emplois industriels :

- la présence de foncier :
 - surface des zones aménagées disponibles ;
 - surface des zones aménageables potentielles ;
 - classement de certaines zones (on pense notamment au classement en cours des boucles de la Seine, pour la Baie-de-Seine) ;
- la desserte par les modes de transport :
 - l'accès au fluvial (quai fluvial, port fluvial) ;
 - l'accès au ferroviaire fret (ITE²⁶, cours fret) ;
 - l'accès aux autoroutes (construites et à construire) ;
 - l'accès au transport maritime ;
- l'accès à un bassin d'emploi :
 - notamment, dans un contexte de hausse du prix du transport, les localisations d'entreprises isolées en lointaine périphérie seront pénalisées ;
- le dynamisme particulier de certaines zones :
 - pôles de compétitivité.

La liste ci-dessus a uniquement une valeur illustrative. Tous ces critères influant ou n'influant pas la génération, selon les scénarios. Il pourrait être intéressant, au moins pour les grandes communes, de raisonner, pour l'emploi industriel, à l'échelle des zones industrielles ou zones d'activités, pour l'application des coefficients des scénarios, avant d'agréger à l'échelle des zones fines du modèle, puis des zones d'emplois, bien que dans la pratique, il sera sans doute difficile d'avoir des données à l'échelle infra-communale, et que de nombreuses entreprises sont isolées.

Il conviendra d'élaborer un compromis entre les données facilement disponibles (le recensement des accès au transport peut être long notamment), et la précision de la modélisation. On notera que l'accès aux modes alternatifs tend à devenir un facteur important de localisation des entreprises, même si ces modes ne sont souvent pas utilisés, et qu'une entreprise qui utilise les modes alternatifs génère presque toujours du transport routier.

4.3 - Prise en compte du coût du carburant

Il peut paraître étrange de ne pas avoir tenu compte du coût du carburant dans cette étude, notamment dans un contexte d'un modèle monomodal. Ce choix peut être défendu. On se base en effet dans ce rapport dans une hypothèse de changement modéré, et d'un effet de la tendance fort. Or, le rapport entre prix du carburant et déplacement de marchandises est loin d'être linéaire : le dernier point est beaucoup plus influencé par la conjoncture économique générale que le prix du pétrole. Si les frais de carburant comptent en ordre de grandeur pour un quart du prix du transport routier, la hausse du brut est en partie amortie par le poids des taxes. Ces dernières années, la forte hausse du carburant depuis 2003 n'a pas eu, pour effet, de faire baisser le volume de marchandises transportées, avant la crise économique de fin 2008, ni d'inverser la tendance à la hausse de la part modale de la route. C'est pourquoi on peut estimer que notre modèle monomodal reste valable en cas de hausse du pétrole.

Ces considérations ne valent toutefois que si les hausses du pétrole restent relativement modérées et ne sauraient être valables dans le cas d'une situation de rupture d'approvisionnement de pétrole. C'est pourquoi on peut estimer que le scénario 3, scénario de rupture, ne peut être bien représenté par ce type de modèle.

Par ailleurs, une des conséquences possibles de la hausse du prix pétrole est l'évolution des organisations logistiques en accordant plus de poids à la minimisation des distances parcourues. Il serait possible de tenir compte de ce phénomène en faisant évoluer le coût généralisé du déplacement en entrée de l'étape de distribution : cela permettrait bien d'observer une restructuration de la demande de déplacement avec une diminution des distances parcourues.

26 Installation terminale embranchée

Toutefois, nous manquons de références pour quantifier cette évolution.

De plus, en termes de restructuration des flux, cela risquerait de faire doublon avec le phénomène de réorganisation de la population et des emplois qui a déjà été pris en compte dans ce scénario.

Il serait enfin possible de modéliser à part la NST 3, principalement constituée par les flux d'hydrocarbures à destination des stations-services et des particuliers (fioul domestique), pour diminuer les tonnages d'hydrocarbures transportés dans les scénarios qui prévoient un prix accru de l'énergie. Toutefois, l'impact sur les trafics routiers sera probablement faible.

Conclusion

Le modèle présenté dans ce rapport a permis de traduire une démarche de prospective territoriale (quantifiée en termes d'évolution de population et d'emplois) en prévisions quantitatives de circulation de poids lourds. La technique de modélisation, qui a été inspirée de MoNaPL, a fait l'objet de nombreux approfondissements, ce qui a permis de tirer un certain nombre d'enseignements méthodologiques qui portent à la fois sur la technique de modélisation à proprement parler et sur l'utilisation des données SITRAM (voir annexe).

Le principal apport de cet outil est la reconstitution fine des flux de PL locaux, qui est rendue possible par l'éclatement des résultats de la distribution sur un zonage fin selon des critères statistiques. Cela permet incontestablement d'améliorer la qualité des modèles d'affectation grâce à une meilleure reconstitution des choix d'itinéraires (en utilisant un zonage plus fin) et à une limitation de l'utilisation de préchargements (en reconstituant des flux locaux qui sont bien souvent impossibles à recueillir en pratique sur le terrain). Cet outil présente donc un intérêt opérationnel certain, et devrait prochainement faire l'objet d'une notice d'utilisation en vue de son adaptation sur un autre secteur d'étude.

Toutefois, pour une utilisation en prévision, le modèle doit encore être affiné notamment en ce qui concerne le niveau global de trafic. Pour aboutir à des prévisions locales plus vraisemblables, un ajustement des hypothèses d'évolution des tonnages paraît nécessaire. Il conviendra d'utiliser les tendances de tonnage transporté, et non plus les tendances d'emplois et de productivité, pour déterminer l'évolution globale de la quantité de marchandises générée. L'évolution des emplois et de la productivité ne servira donc plus qu'à répartir cette évolution globale sur le territoire.

Pour améliorer ce modèle, tout en gardant la même structure et la même logique, plusieurs pistes ont été identifiées, portant à la fois sur les données à utiliser en entrée et sur la technique de calage.

Mais il ne s'agit là que d'optimisations assez marginales, alors que par ailleurs des pistes d'améliorations plus profondes ont été recherchées et seront progressivement mises en œuvre dans le cadre de travaux méthodologiques sur la modélisation marchandises :

- pour les filières vrac, il s'agira de construire des modèles plus spécifiques (en abandonnant partiellement la logique de génération par la population et les emplois) par identification systématique des sites producteurs, des schémas logistiques, et des facteurs de la demande ;
- pour les produits agricoles, la décomposition des données SITRAM en deux NST est insuffisante et une segmentation plus fine de ces deux classes de marchandises devra être envisagée ;
- pour les produits manufacturés, la description de l'activité logistique devra être étudiée plus finement, notamment en utilisant d'autres sources de données.

Dans un premier temps, il est proposé de se concentrer sur certaines filières de vrac (NST 3 et 6), qui représentent la majorité des marchandises transportées et qui peuvent, selon toute vraisemblance, être mieux expliquées par des modèles spécifiques simples.

Annexes

Annexe : Estimation de la fiabilité des données SITRAM

1 - Estimation de la fiabilité des données utilisées pour caler la génération

La variable aléatoire défini ici est le nombre moyen de tonnes générées par zone (m).

On utilise la formule (le taux de sondage est faible) de l'erreur-type : $E = Z \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

avec :

n la taille de l'échantillon (défini pour chaque zone)

σ l'écart-type de l'échantillon (défini pour chaque zone)

Z le coefficient de pondération.

Nous prenons un niveau de confiance de 95 %, donc Z vaut 1,96.

L'erreur relative vaut donc : $erreur\ relative = \frac{E}{m} = \frac{1,96}{\sqrt{n}} \times \frac{\sigma}{m}$

Nous ne connaissons pas le terme, car il nous faudrait avoir accès au fichier de base, pour chaque ZE. Nous allons prendre comme hypothèse que cette valeur est constante pour une NST donnée pour toute la France, et utiliser les valeurs issues d'une extraction sur une ZE.

Les résultats sont les suivants (la marge d'erreur spécifique à la ZE de Rouen est également donnée à titre indicatif)

Chapitre	Nombre d'observations	Tonnes redressées moyenne par observation	Ecart-type des tonnes redressées	Rapport écart-type sur moyenne	Pour la Ze de Rouen, marge d'erreur à 95% de confiance
0	1 397	6 969	12 062	1,73	9%
1	1 524	6 239	8 154	1,31	7%
2	60	12 185	27 199	2,23	56%
3	1 552	6 292	3 621	0,58	3%
4	161	7 958	13 350	1,68	26%
5	94	4 621	4 314	0,93	19%
6	1 366	14 944	21 474	1,44	8%
7	555	7 470	6 256	0,84	7%
8	822	5 816	6 595	1,13	8%
9	5 255	4 133	5 013	1,21	3%
total	12 786	6 454	10 269	1,59	3%

Tableau 34: statistiques sur les observations (chargement)

Chapitre	Nombre d'observations	Tonnes redressées moyenne par observation	Ecart-type des tonnes redressées	Rapport écart-type sur moyenne	Pour la Ze de Rouen, marge d'erreur à 95% de confiance
0	2 460	7 572	10 232	1,35	5%
1	1 422	6 379	8 548	1,34	7%
2	18	28 210	46 517	1,65	76%
3	620	7 354	6 242	0,85	7%
4	150	7 268	8 026	1,10	18%
5	135	4 134	2 783	0,67	11%
6	1 374	14 203	21 292	1,50	8%
7	202	9 599	9 150	0,95	13%
8	679	5 635	5 159	0,92	7%
9	5 280	4 002	4 733	1,18	3%
total	12 340	6 550	10 413	1,59	3%

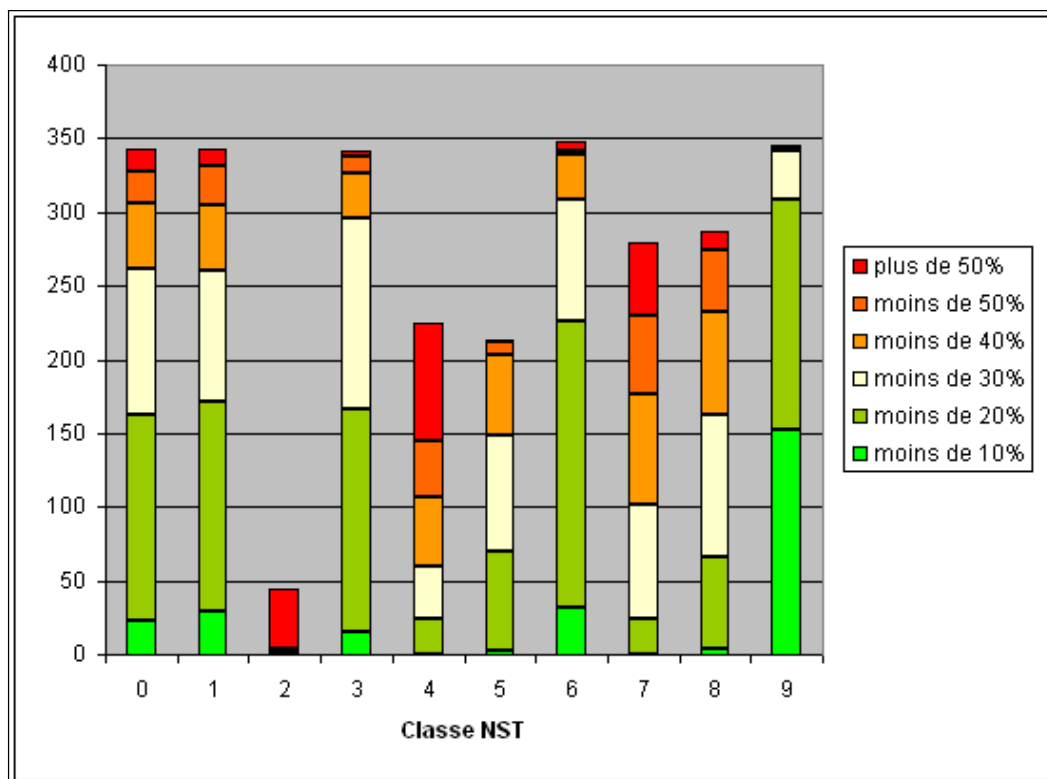
Tableau 35: statistiques sur les observations (déchargement)

Le rapport écart-type sur moyenne varie de 0,7 à 2,2. Cela s'explique notamment par une plus ou moins grande hétérogénéité des transports. Pour la NST 3, les matières sont principalement transportées en 19T (pour les livraisons fines de fioul ou de bouteille de gaz) et en 40T (pour la livraison des stations-services), avec un poids qui diffère très peu entre deux chargements pour un même type d'ensemble. En effet, il y a peu de matières différentes dans la NST 3, et quelque soit la matière transportée, une citerne de 30 m³ aura presque toujours un coefficient de remplissage et une densité légèrement inférieure à 1, et aura donc à peu près toujours le même poids. Pour d'autres NST, les possibilités de chargement et les types de marchandises transportées (sachant qu'un même camion peut, de plus, transporter plusieurs NST) sont beaucoup plus nombreux, d'où un poids par chargement beaucoup plus variable.

Le rapport $\frac{\sigma}{m}$ étant estimé, on peut donc appliquer la formule de l'erreur relative à l'ensemble des zones d'emplois :

$$erreur\ relative_{zone\ y, NST\ x} = \frac{1,96}{\sqrt{n_{y, NST\ x}}} \times \frac{\sigma_{Rouen, NSTx}}{m_{Rouen, NSTx}}$$

On obtient les tableaux suivants, pour la période 2004-2006 :



Graphique 7 : marge d'erreur des réceptions, pour les zones d'emplois où le nombre d'observations est supérieur à 10

Les données SITRAM détaillées par zone d'emplois et par chapitre NST, vu leur fiabilité, apparaissent être excellentes pour la NST 9, correctes pour les NST 0, 1, 3, 6 et 9, utilisables avec précaution pour les NST 5, 7 et 8, et inutilisables pour les NST 2 et 4.

La situation des réceptions et des émissions est globalement la même, mais les réceptions sont parfois plus fiables, car les réceptions sont souvent mieux réparties sur le territoire que les émissions. C'est notamment le cas de la NST 3, au sein de laquelle les hydrocarbures partent des dépôts pétroliers, en nombre limité, vers les stations-services, les particuliers ou les entreprises répartis sur l'ensemble du territoire.

2 - Estimation de la fiabilité des données utilisées pour caler la distribution

Pour chaque zone i , la variable aléatoire définie ici est la proportion (p_{ij}) de déplacements effectués entre i et j (n_{ij}) parmi l'ensemble des déplacements générés par la zone i (n_i)

L'erreur relative sur cette proportion p_{ij} est la suivante (au seuil de confiance de 95 %) :

$$\text{erreur relative} = \frac{1,96}{\sqrt{n_i}} \times \frac{\sigma}{p_{ij}}$$

On se place dans le cas où la proportion est faible ($<0,01$) et où le nombre d'observations est supérieur à 10.

On a alors :

$$\sigma = \sqrt{(p_{ij} \times (1 - p_{ij}))} \approx \sqrt{(p_{ij})}$$

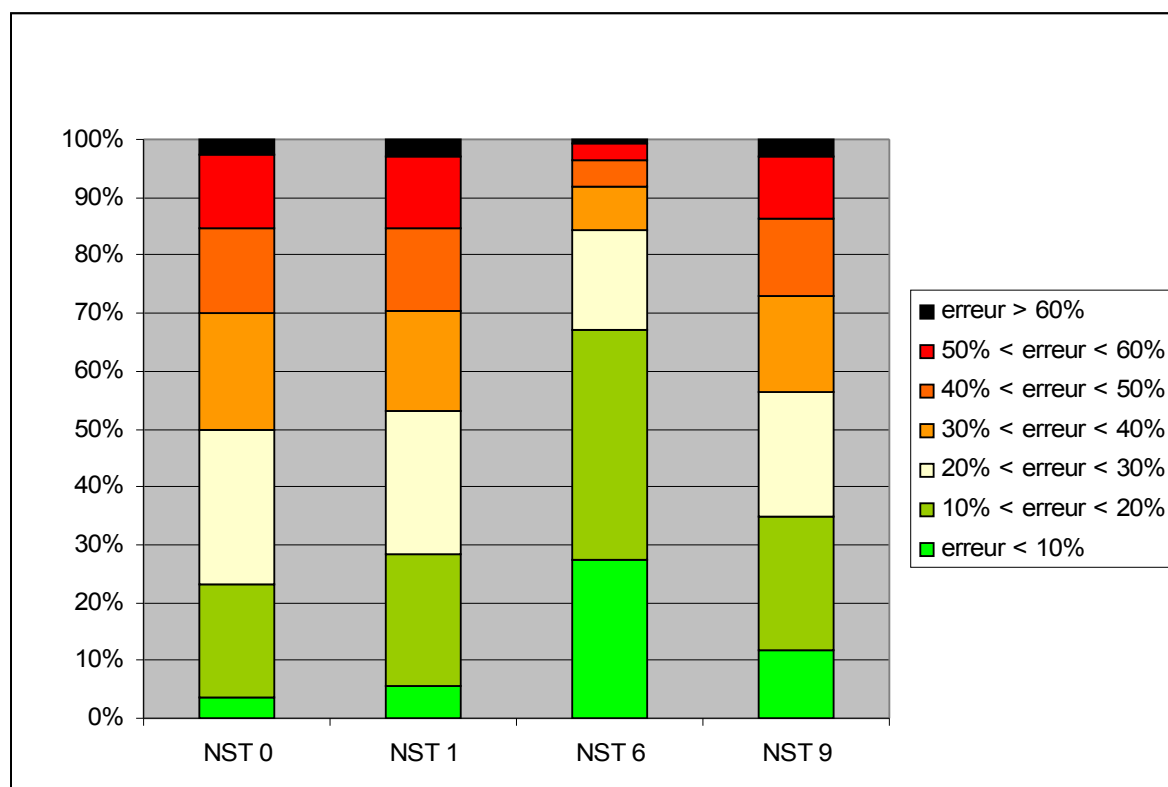
Or :

$$n_{ij} = \frac{p_{ij}}{n_i}$$

La formule devient donc :

$$\text{erreur relative} = \frac{1,96}{\sqrt{n_{ij}}}$$

La marge d'erreur a ainsi pu être calculée sur plusieurs niveaux de zonages (zone d'emplois, département, et zonage agrégé utilisé). Les graphiques suivants présentent les résultats pour les 4 principales NST. Les pourcentages sont calculés par rapport aux tonnages totaux observés pour chaque NST.



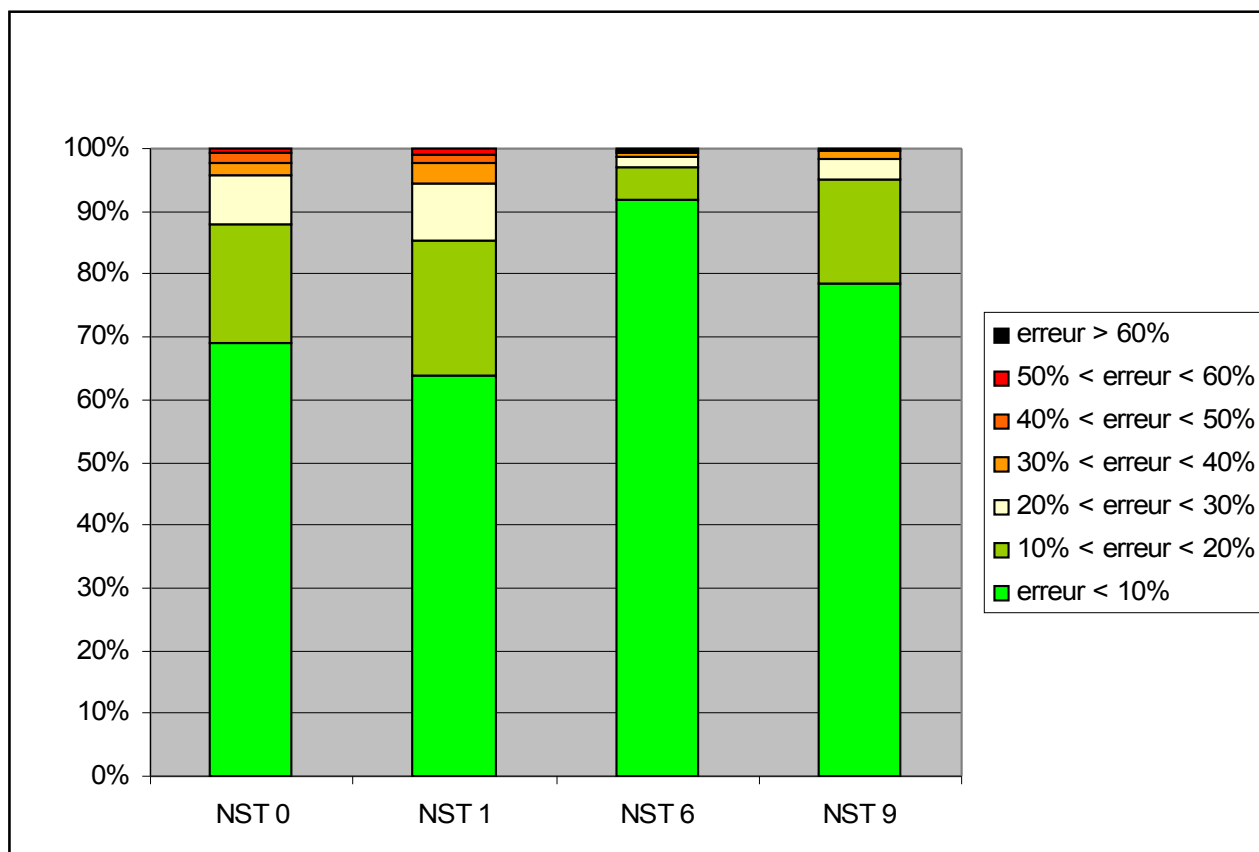
Graphique 8: marge d'erreur des flux (O/D) zone d'emplois à zone d'emplois, pour les OD où le nombre d'observations est supérieur à 10

Les données ne sont pas fiables sur ce zonage à la zone d'emplois, puisque plus de 70 % des tonnages de la matrice présentent une marge d'erreur supérieure à 10 % (et même plus de 80 % pour la NST 9 et plus de 90 % pour les NST 0 et 1). On constate que la NST 6 est celle qui présente la meilleure fiabilité, ce qui s'explique par les tonnages élevés transportés dans cette catégorie de marchandises.

Pour le zonage départemental, les données sont beaucoup plus fiables qu'au niveau de la zone d'emplois, mais pas nécessairement suffisamment pour que l'on puisse considérer que les données sont statistiquement fiables (on pourrait considérer que les données sont fiables si plus de 80 % des flux ont une marge d'erreur inférieure à 20 % avec un intervalle de confiance de 95 %).

En effet, pour les NST 0 et 1, plus de 30 % des tonnes de la matrices présentent encore une marge d'erreur supérieure à 20 %, et plus de 70 % présentent une marge d'erreur supérieure à 10 %, ce qui est insuffisant. Près de 50 % des tonnes de la NST 9 ont une marge d'erreur inférieure à 10 %, et plus de 70 % une marge d'erreur inférieure à 20 %, ce qui est plus représentatif mais non encore satisfaisant. Pour la NST 6 les flux sont assez fiables, puisque plus de 75 % des flux ont une marge d'erreur inférieure à 10 %, et pour 90 % des flux la marge d'erreur est en dessous de 20 %.

Au point 2 - Distribution du Chapitre 3 , nous avons vu qu'un zonage agrégé a été constitué pour caler la distribution (à l'aide de facteurs correctifs appelés facteurs K) afin que l'ajustement s'effectue sur des flux par OD statistiquement fiables. Ce zonage (présenté en Carte 9) est constitué de zones d'emplois agrégées au département à l'intérieur et à proximité directe de la Baie-de-Seine, et des régions à l'extérieur. Sur ce niveau de zonage, les résultats sont les suivants :



Graphique 9 : marge d'erreur des flux (O/D) zone agrégée à zone agrégée, pour les OD où le nombre d'observations est supérieur à 10

La génération peut être considérée comme fiable sur ce niveau de zonage, donc les valeurs calculées ici permettent d'estimer complètement les erreurs sur les estimations des flux par OD : en l'occurrence, sur ce niveau de zonage (centré sur le territoire étudié), plus de 80 % des flux présentent une marge d'erreur inférieure à 20 %. Les données sont particulièrement fiables pour les NST 6 et 9, avec plus de 90 % des tonnes de la matrice ayant une marge d'erreur inférieure à 10 % pour la NST 6, et près de 80 % des tonnes de la matrice qui présentent une erreur inférieure à 10 % pour la NST 9. Pour ces 4 NST, moins de 5 % des flux ont une marge d'erreur qui dépasse 30 %. Les données SITRAM par NST et par OD peuvent donc être considérés comme tout à fait fiables pour ce zonage, ce qui donne du sens à l'emploi de coefficients correctifs (facteurs K) au niveau de la distribution.

Index des illustrations

Illustration 1: Architecture du modèle BASIF.....	8
Illustration 2 : Distribution de la valeur du temps.....	65
Illustration 3 : schéma très simplifié de l'évolution attendue des transports de matériaux de construction.....	83
Illustration 4 : schéma général de l'étape de génération en prospective.....	91

Index des cartes

Carte 1 : zonage de l'étude.....	10
Carte 2 : zonage de l'étude : zoom sur la zone BASIF (en vert).....	11
Carte 3: Réseau routier.....	12
Carte 4: Réseau routier, zoom sur le territoire BASIF.....	13
Carte 5: Densité de population.....	14
Carte 6: Comptages routiers.....	17
Carte 7 : Calage des flux TMJO (flux tous véhicules jour ouvrable).....	35
Carte 8 : Calage des flux PLJO (flux poids-lourds jour ouvrable).....	36
Carte 9 : zonage agrégé utilisé pour caler la distribution.....	42
Carte 10 : visualisation des facteurs K relatifs au département 76, pour la NST 0.....	45
Carte 11: visualisation des facteurs K relatifs au département 76, pour la NST 0 – zoom sur la Baie-de-Seine.....	45
Carte 12 : visualisation des facteurs K relatifs au département 76, pour la NST 1.....	46
Carte 13 : visualisation des facteurs K relatifs au département 76, pour la NST 1 – zoom sur la Baie-de-Seine.....	47
Carte 14 : visualisation des facteurs K relatifs au département 76, pour la NST 6.....	48
Carte 15 : visualisation des facteurs K relatifs au département 76, pour la NST 6 – zoom sur la Baie-de-Seine.....	49
Carte 16 : visualisation des facteurs K relatifs au département 76, pour la NST 9.....	50
Carte 17 : visualisation des facteurs K relatifs au département 76, pour la NST 9 – zoom sur la Baie-de-Seine.....	50
Carte 18 : répartition des émissions de la NST 0.....	52
Carte 19 : répartition réception NST 0.....	53
Carte 20 : répartition des émissions NST 9.....	54
Carte 21 : répartition des réceptions NST 9.....	55

Carte 22 : lignes de désir – toutes NST.....	57
Carte 23 : lignes de désir – toutes NST – zoom sur la Baie-de-Seine	58
Carte 24 : flux internes à la zone d'emplois du Havre	59
Carte 25 : flux interne à la zone d'emplois de Rouen.....	59
Carte 26 : flux internes à la zone d'emplois de Caen.....	60
Carte 27 : pourcentage de flux intra-zone – France entière.....	62
Carte 28 : pourcentage de flux intra-zone – zone BASIF.....	63
Carte 29 : calage des trafics – France entière.....	67
Carte 30 : calage des trafics – corridor Baie-de-Seine Ile-de-France.....	68
Carte 31 : population par zone d'emplois selon le scénario.....	73
Carte 32 : population par zone BASIF selon le scénario : zoom sur Caen.....	74
Carte 33 : population par zone BASIF selon le scénario : zoom sur Le Havre.....	75
Carte 34 : population par zone BASIF selon le scénario : zoom sur Paris.....	76
Carte 35 : population par zone BASIF selon le scénario : zoom sur Le Havre.....	76
Carte 36 : évolution des flux de marchandises entre 2005 et 2025 (S1).....	92
Carte 37 : évolution des flux de marchandises entre 2005 et 2025 (S2).....	93
Carte 38 : évolution des flux de marchandises entre 2005 et 2025 (S3)	94
Carte 39 : évolution des flux de marchandises entre 2005 et 2025 (S4)	95
Carte 40 : répartition des émissions de NST 9 en 2025 dans les ZE du Havre et de Rouen, scénario 1	96
Carte 41 : répartition des émissions de NST 9 en 2025 dans les ZE du Havre et de Rouen, scénario 2	97
Carte 42 : répartition des émissions de NST 9 en 2025 dans les ZE du Havre et de Rouen, scénario 3	98
Carte 43 : répartition des émissions de NST 9 en 2025 dans les ZE du Havre et de Rouen, scénario 4	99
Carte 44 : résultat de l'affectation (scénario 1) par rapport au trafic 2005.....	101
Carte 45 : résultat de l'affectation (scénario 2) par rapport au trafic 2005.....	102
Carte 46 : résultat de l'affectation (scénario 3) par rapport au trafic 2005.....	103
Carte 47 : résultat de l'affectation (scénario 4) par rapport au trafic 2005.....	104
Carte 48 : résultat de l'affectation (scénario 1 – avec prise en compte des ports) par rapport au trafic 2005.....	105
Carte 49 : résultat de l'affectation (scénario 2 – avec prise en compte des ports) par rapport au trafic 2005	106

Carte 50 : résultat de l'affectation (scénario 4 – avec prise en compte des ports) par rapport au trafic 2005	106
---	-----

Index des graphiques

Graphique 1 : Répartition des flux selon les NST pour les zones du territoire BASIF – source : données SITRAM 2004-2005.....	16
Graphique 2 : Comparaison entre le modèle de distribution et les données SITRAM.....	25
Graphique 3 : part des facteurs de génération en émissions et en attractions.....	40
Graphique 4 : résultats nationaux, selon la classe NST et le scénario, par rapport à la situation actuelle.....	88
Graphique 5 : répartition du trafic routier en France.....	112
Graphique 6 : part de la NST 3 (les produits pétroliers) dans l'ensemble des transports circulant sous le régime des TMD (tonnage 2008, source SOeS).....	117
Graphique 7 : marge d'erreur des réceptions, pour les zones d'emplois où le nombre d'observations est supérieur à 10.....	126
Graphique 8: marge d'erreur des flux (O/D) zone d'emplois à zone d'emplois, pour les OD où le nombre d'observations est supérieur à 10.....	127
Graphique 9 : marge d'erreur des flux (O/D) zone agrégée à zone agrégée, pour les OD où le nombre d'observations est supérieur à 10	128

Index des tables

Tableau 1 : part modale des trafics de marchandises – données SITRAM 2004-2006	9
Tableau 2 : classes NST (SITRAM), et proportion dans le trafic (chiffre 2005 France entière).....	15
Tableau 3 : Coefficients de génération.....	21
Tableau 4 : Valeurs des paramètres alpha par NST.....	23
Tableau 5 : Ratios d'erreur moyenne par NST sans coefficients de correction.....	25
Tableau 6 : Ratios d'erreur moyenne par NST avec coefficients de correction.....	26
Tableau 7 : Classes de distance du modèle de véhicules.....	28
Tableau 8 : Type de PL du modèle de véhicules.....	29
Tableau 9 : Correspondance entre les NST et les "commodity group".....	29
Tableau 10 : Répartition selon les catégories de déplacements.....	30
Tableau 11 : Chargements moyens.....	30
Tableau 12 : Facteur de chargement à vide.....	31
Tableau 13 : coefficients de génération.....	39
Tableau 14 : paramètres de résistance à la distance.....	43

Tableau 15 : Valeurs des facteurs de correction.....	44
Tableau 16 : Valeurs des facteurs de correction rapportés au tonnage.....	44
Tableau 17 : comparaison SITRAM/désagrégation de notre modèle, pour la zone d'emplois de Lillebonne, en génération.....	56
Tableau 18 : comparaison SITRAM/désagrégation de notre modèle, pour la zone d'emplois de Rouen, en génération.....	56
Tableau 19 : pourcentage de flux intra-zone.....	61
Tableau 20 : Classes de valeur du temps au sein de la population.....	65
Tableau 21 : vitesse des PL en fonction du type d'arc.....	66
Tableau 22 : résultats du calage.....	69
Tableau 23 : hypothèses d'évolution de la population des zones selon les scénarios.....	73
Tableau 24 : hypothèses d'évolution des emplois selon les scénarios.....	78
Tableau 25 : évolution tendancielle du nombre d'emplois (source INSEE).....	79
Tableau 26 : évolution tendancielle de la productivité financière par emploi et de la valeur de la tonne	80
Tableau 27 : évolution tendancielle de la production par secteur d'activité.....	81
Tableau 28 : coefficients correctifs, par NST et scénario.....	86
Tableau 29 : résultats nationaux, selon la classe NST et le scénario, par rapport à la situation actuelle	87
Tableau 30 : évolution des tonnes générées par scénario, par rapport à la situation actuelle.....	88
Tableau 31 : évolutions prévues des emplois vu l'évolution tendancielle des emplois (entre autres), hors scénarios particuliers.....	89
Tableau 32 : évolution tendancielle des tonnages transportés (source : CGDD).....	90
Tableau 33 : décomposition des NST 0 et NST 1 en groupe (données 2005).....	117
Tableau 34: statistiques sur les observations (chargement).....	124
Tableau 35: statistiques sur les observations (déchargement).....	125

Pôle de Compétences et d'Innovation

"Méthodes, Outils et Démarches pour la Modélisation et l'Organisation des Déplacements"

Ce document a été élaboré sous le pilotage du Sétra par le PCI "Méthodes, Outils et Démarches pour la Modélisation et l'Organisation des Déplacements".

Le PCI vise à proposer des évolutions dans la manière de conduire les études de déplacements afin de pouvoir répondre aux attentes sociétales complexes relevant directement ou indirectement de ce domaine d'investigations. La modélisation des déplacements est donc la cible principale du PCI mais il a aussi vocation à proposer, spécifier ou améliorer d'autres démarches, méthodes et outils pour permettre une prise en compte plus large et plus efficace des enjeux de déplacements.

Le PCI est situé au CETE Normandie Centre.

Le rapport présente la démarche suivie par le PCI Modélisation pour construire un modèle de trafic routier marchandises sur le territoire Baie de Seine Ile de France. Les principales étapes sont détaillées ainsi que les limites du modèles. Finalement, le rapport donne des pistes d'améliorations pour de prochains travaux de modélisation fret.

Rédacteurs

Thomas ANSELME – CETE Normandie Centre

téléphone : 02 35 68 88 78

mél : thomas.anselme@developpement-durable.gouv.fr

Rémi CORGET-CETE Normandie Centre

téléphone : 02 35 68 88 91

mél : remi.corget@developpement-durable.gouv.fr

Référent SETRA

Charlotte COUPE

mél : charlotte.coupe@developpement-durable.gouv.fr

Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements
110, rue de Paris - SOURDUN – BP 124 – 77487 PROVINS Cedex – France
téléphone : 33 (0)1 60 52 31 31 – télécopie : 33 (0)1 60 52 31 69

Document consultable et téléchargeable sur les sites web du Sétra :

- Internet : <http://www.setra.developpement-durable.gouv.fr>
- Intranet (Réseau ministère) : <http://intra.setra.j2>

Ce document ne peut être vendu. La reproduction totale du document est libre de droits.
En cas de reproduction partielle, l'accord préalable du Sétra devra être demandé.
© 2012 Sétra – Référence : 1237w – ISRN : EQ-SETRA--12-ED26-FR

Le Sétra appartient
au Réseau Scientifique
et Technique
du MEDDE

