



L'offre et la demande

Les cas de la route et des transports publics

Sommaire

1. Demande et Offre: Quelques notions de base

2. La demande : Où-Pourquoi-Comment-Quand

- La demande où ? Répartition spatiale
- La demande pourquoi ? Répartition causale motif
- La demande comment ? Répartition modale
- La demande quand ? Répartition temporelle

3. La demande : Charges de trafic

- Comment la représenter?
- Comment la déterminer ?
- Quelques fournisseurs
- Trafic déterminant

4. L'offre: La voirie

- Niveau de service
- Capacité routière

5. Bilan de capacité routière

6. L'offre: Les Transports publics

- Les stations
- Calcul de l'offre

7. Hiérarchie du réseau routier

- Types de routes et fonctions
- Schématisation de la hiérarchie routière
- Hiérarchie des nœuds routiers

8. Plan des voies

9. Une croissance considérable de trafic d'ici 2040

Actualité de la “semaine”: Les objectifs

A L'Avenir

Un premier MobiPôle wallon à Malmedy: "L'objectif est d'améliorer la mobilité, favoriser le covoiturage et réduire l'usage de la voiture unique"



Plus qu'un parking de covoiturage, c'est un projet global et ambitieux qui devrait s'installer à la sortie d'autoroute de Malmedy dans le...

25 juin 2025

■ Groupe Caisse des Dépôts

Penser les mobilités touristiques à l'heure du changement climatique: un objectif triple



À l'heure où le secteur du tourisme fait face aux défis majeurs de la transition écologique, la question des mobilités touristiques s'impose...

24 avr. 2025

B BruxellesToday

La Stib poursuit son objectif de décarbonation: 300 nouveaux bus électriques seront commandés



Transition écologique. La Stib poursuit son objectif de décarbonation: 300 nouveaux bus électriques seront commandés. Le CEO de la Stib, Briec de Meuûs,...

17 juin 2025

Revue du 20210111

Actualité de la “semaine”: Les objectifs

Entre 2014-2030, le #NPNRU @AnruOfficiel a pour **objectif** de réduire les écarts de développement entre les quartiers défavorisés et leurs unités urbaines. En n'en pas douter, les #Transports et le #numerique , y joueront un rôle prépondérant ! #TransportIntelligents #CGICitoyen pic.twitter.com/psWQcUBT6L

.@IDFmobilites et la régie des **transports** parisiens lancent le plus important appel d'offres d'#Europe pour l'achat de bus électriques ↵.
Objectif : réduire la #pollution de l'air en @IledeFrance. Les détails de ce projet de grande ampleur ici sur : bit.ly/ZE4Fgko
pic.twitter.com/TE1PmoZlza

🚌👤 L'arrêt à la demande va être testé sur 11 lignes de bus du 77 et du 93 dès le mois de mars. **Objectif** : améliorer la sécurité des voyageurs et en particulier des femmes, lors des trajets effectués à partir de 22 heures → iledefrance.fr/l-arret-a-dema... #TransportsIDF #SécuritéIDF
pic.twitter.com/leSA7B8xzQ

« Je soutiens totalement l'**objectif** poursuivi par @Anne_Hidalgo à Paris. Dans les grandes métropoles, notre devoir c'est de développer les **transports** en commun et l'intermodalité. » @benoithamon
#8h30politique #VoiesSurBerge #GenerationsLeMouvement
pic.twitter.com/RHsvhHLHeu

Les #transports, l'un des enjeux majeurs de la #VilledeDemain ! Notre **objectif** ? Détenir, d'ici 2020, 90% d'immeubles de #Bureaux situés à moins de 10 min à pieds des **transports** en commun buff.ly/2DYbgtK
pic.twitter.com/KvVvcctwHjz

Le crédit productif public peut permettre de recapitaliser les dettes annulés par la séparation des banques et aussi financera les grands projets ferroviaires. **Objectif** : droit aux **transports** rapides, pas chers et efficaces pour tous.

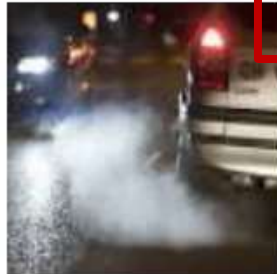
Actualité de la “semaine”: Les objectifs



Les objectifs de développement durable au cœur des actions ...

Le Temps - 6 sept. 2019

Aujourd'hui, les universités du monde entier s'appuient sur les 17 **objectifs** de développement durable à l'horizon 2030 énoncés par les ...



Pour atteindre les objectifs climatiques, une taxe carbone d'1 ...

Heidi.news - 3 oct. 2019

Quelle taxe carbone serait la plus efficace pour atteindre les **objectifs** climatiques de l'accord de Paris? Selon une équipe de l'EPFL, la Suisse ...

Malentendu autour des Objectifs de développement durable

L'AGEFI - 2 oct. 2019

Lancés par l'ONU, les ODD demeurent mal communiqués par les entreprises et mal compris par les investisseurs. Les gestionnaires ...



Climat: une taxe de 1,70 franc par litre d'ici 2050 serait idéale ...

Le Nouvelliste - 3 oct. 2019

... taxe de 1,70 franc par litre d'ici 2050 serait idéale pour atteindre les **objectifs** ... le car-sharing et la **mobilité** douce, a aussi été pris en compte.



Genève veut développer un drone ambulance pour ...

Le Nouvelliste - 2 oct. 2019

... sur les drones taxis dans le cadre de l'initiative de **mobilité** urbaine aérienne (UAM)

.. **Objectifs**: désengorger les routes et gagner du temps.

Geneve veut developper un prototype de drone ambulance

Source locale - RTS.ch - 2 oct. 2019

Actualité de la "semaine": L'offre et la demande



Hyundai et Hydrospider s'allient pour doper la **mobilité** ...

H2-mobile (Blog) - 30 sept. 2019

Hyundai et Hydrospider s'allient pour doper la **mobilité** hydrogène en Europe ... En boostant conjointement l'**offre** en véhicules hydrogène, la mise au ... 2 coentreprises misent sur un développement de la **demande** pour de ...



Mobilités : les acteurs se concentrent mais l'**offre** reste illisible

JDN - 3 oct. 2019

Mobilités : les acteurs se concentrent mais l'**offre** reste illisible ... nombreux aux heures de pointe pour satisfaire toute la **demande** francilienne.



Véhicules électriques : en France, les consommateurs restent ...

Les Smart Grids - 1 oct. 2019

Mauvaise nouvelle sur le front de la **mobilité** propre en France : les intentions ... Pire : même dans les intentions d'achat, la **demande** tend à stagner, ... 51% des Français estiment l'**offre** électrique trop chère ou pas adaptée.

Actu-Transport-Logistique.fr


Offre et demande : quelles perspectives pour le conteneur en 2025 ?



Les projets tarifaires du président Trump et les mesures de rétorsion de ses partenaires économiques pourraient contrarier les prévisions.

6 janv. 2025

Actualité de la semaine: L'offre et la demande


 Ville de Genève

Transports publics en ville de Genève

Articles associés ... Comment se déplacer en transports publics à Genève? À Genève, l'offre de transport public comprend: ... L'abonnement unireso...

Août 2025




 Tribune de Genève

Transports publics – Une initiative pour la gratuité mijote à ...

Elle attirerait surtout des adeptes de la mobilité douce, encouragerait le ... la gratuité nécessiterait une augmentation de l'offre est une...

Août 2024



 Le Temps

A Genève, la gratuité des transports publics provoque des psychodrames politiques à répétition

Environ 94 000 personnes ont profité de cette nouvelle mesure visant à «soulager le budget des ménages» depuis son entrée en vigueur, le 1er...

Septembre 2025

3



Mobilité: La question du CO2

Des émissions en baisse.

Depuis 1990, la tendance générale est à la baisse.

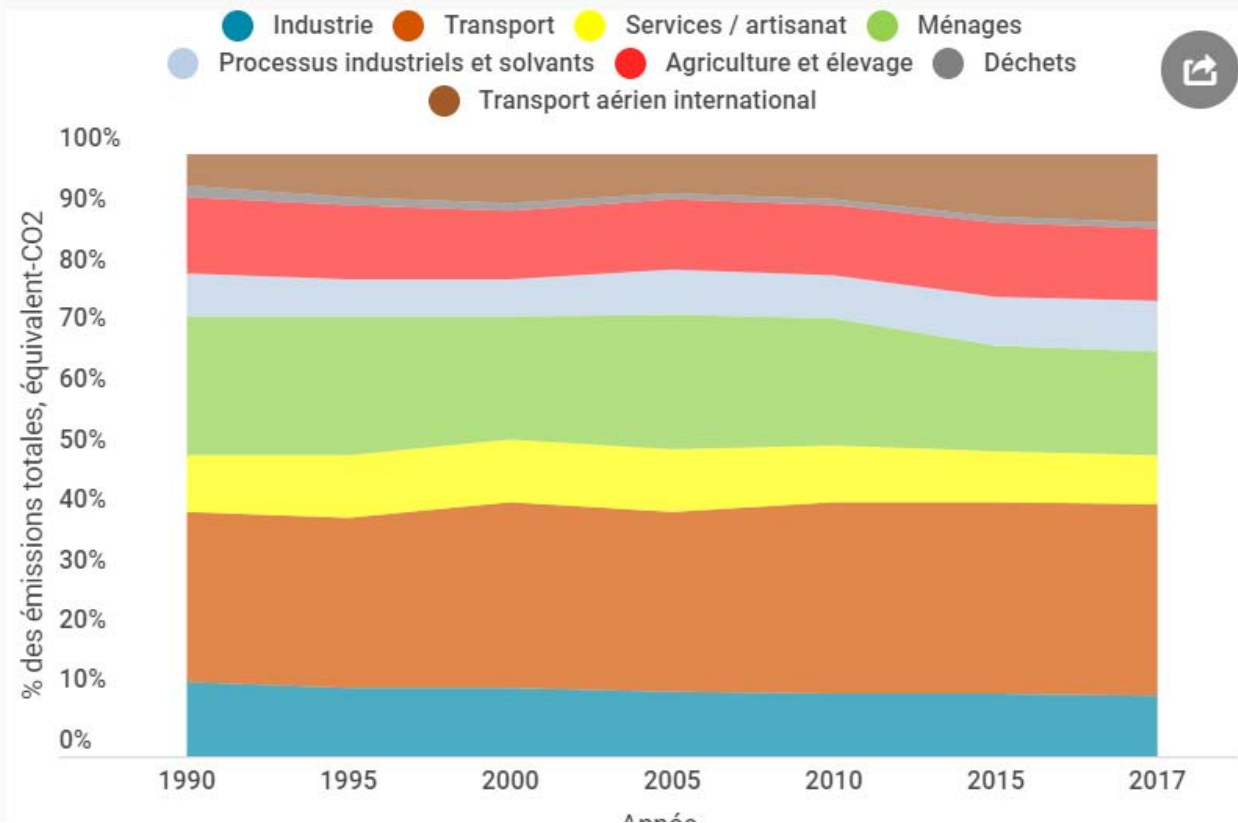
La Suisse émettait 53,6 millions de tonnes d'équivalent CO₂ à l'époque, contre 47,2 millions en 2017 (-12%).

La situation est cependant très différente selon le secteur observé.

Trois se distinguent particulièrement: les transports, l'industrie et les ménages.

En Suisse, les voitures individuelles sont les premières émettrices de CO2

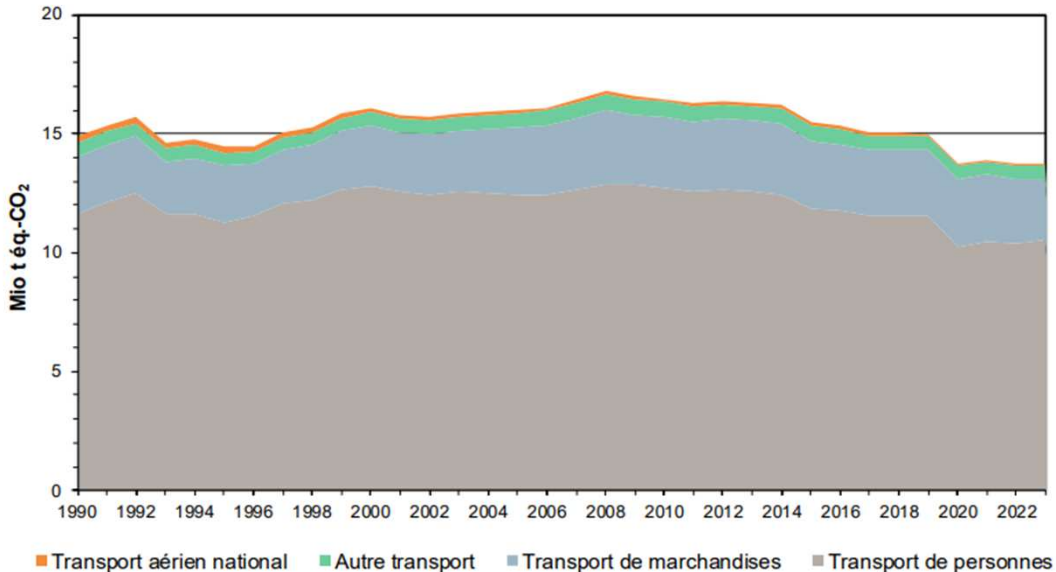
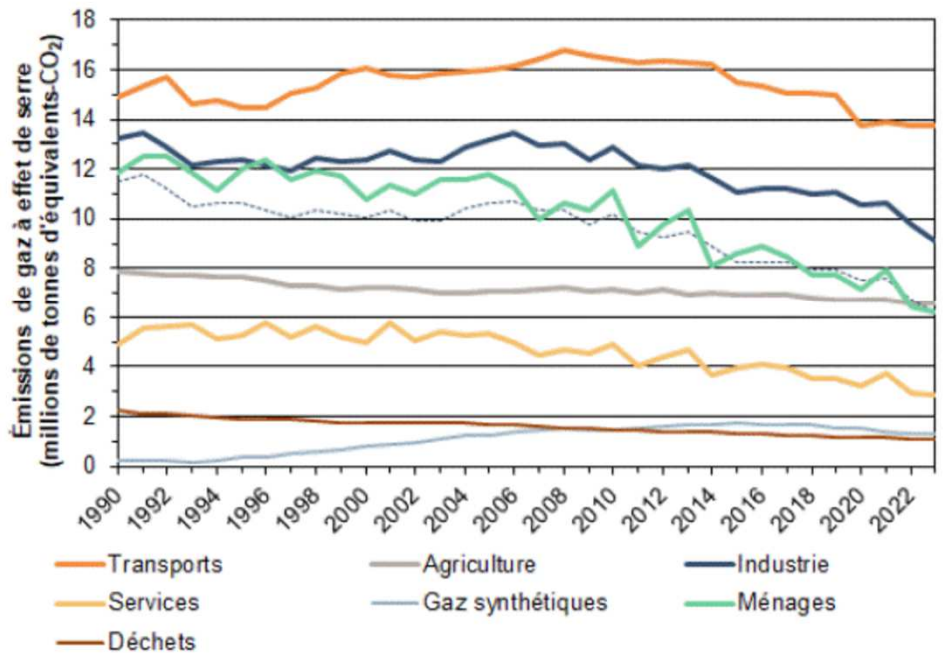
par Florent Hiard



Part dans les émissions totales de gaz à effet de serre en Suisse (Source: OFEV)

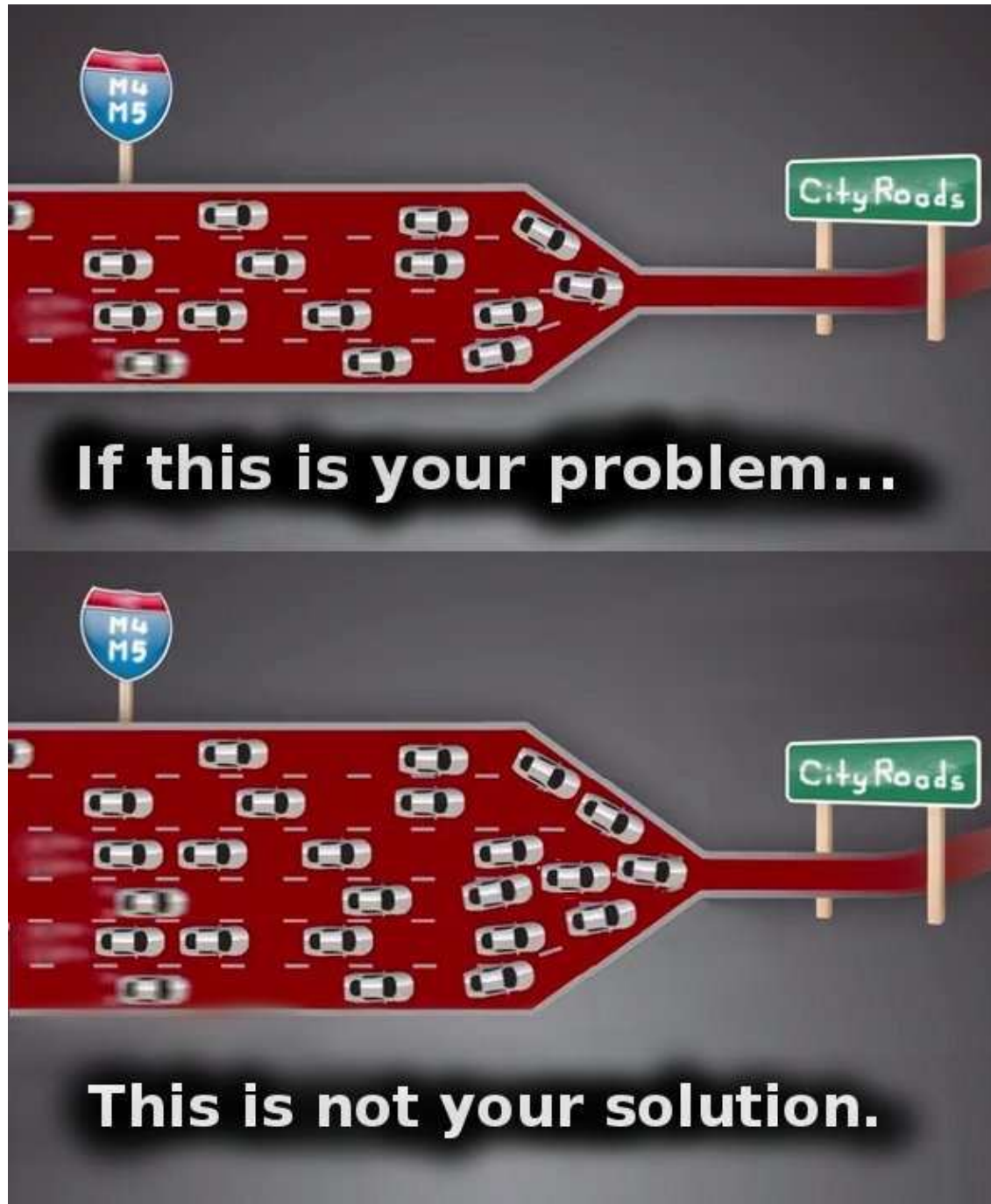
Mobilité: La question du CO2

Répartition des émissions de gaz à effet de serre de la Suisse par secteurs



Part dans les émissions totales de gaz à effet de serre en Suisse (Source: OFEV)

Mobilité: L'entonnoir ou l'œuf de Colomb



La ville: Les transformations durables (Amsterdam)



La ville: Les transformations durables (Amsterdam)



Energie : L'après automobile...(11 mars 2011 Fukushima)



Tendances: **New urban mobility**



Voitures volantes : **Bref historique**

- 1917 : Glenn Curtiss : Autoplane → échec
- 1940 : ConvAirCar → échec
- 1950 : Moulton Taylor : Aerocar



Autoplane



ConvAirCar



Aerocar

Voitures volantes : Une diversité de véhicules

- Plutôt à l'aspect d'un petit avion de petit envergure pour rester maniable sur la route

PAL-V : 4 m de long pour 2 m de large.



AeroMobil 3.0 : 6 m de long pour 2.24 m de large



Exception pour le **Pégase** de Vaylon, une voiture à hélice



Aéronef autonome : **AAV** de EHANG, un drone XXL



1. Demande et Offre

Quelques notions de base

Offre et Demande : **Images préliminaires Autoroute Suisse**



Offre et Demande : Images préliminaires – Au Nigeria



Définition générale: **Demande et Offre**

La **demande** exprime le besoin de mobilité. Elle est caractérisée par les déplacements des individus et des marchandises et s'exprime sous différentes formes comme par exemple les charges de trafic, le nombre de voyageurs, ...

La **demande** est une **fonction décroissante du prix**: plus le prix est élevé, plus les quantités demandées sont faibles.

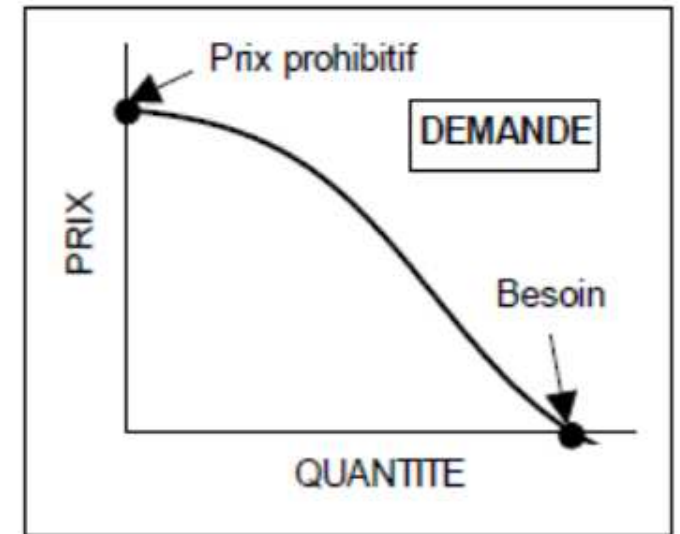
L'**offre** de transport est une activité orientée vers la production non pas de biens matériels mais de prestations de services. **L'offre de transports** est une certaine capacité de transporter d'un lieu à un autre une certaine quantité de personnes ou de marchandises. Cette offre s'exprime par exemple en termes de places assises par heure, de sièges par jour ou par an, par la capacité du réseau, des nœuds,...

L'offre est une **fonction croissante du prix**: plus le prix est élevé, plus les quantités offertes sont importantes

L'offre de transports est proposée à un marché **demandeur de prestations** de transport. Les personnes utilisant des services de transport (**les usagers**), les entreprises industrielles ou commerciales désirant transporter des produits du lieu de leur production aux lieux de distribution ou de vente, constituent la clientèle, les consommateurs de ces prestations

Définition générale: Demande et Offre

La demande à prix nul (qui correspond dans le graphique de la fonction à l'intersection de la courbe avec l'axe des quantités) est appelée **besoin**. Le besoin est ainsi la quantité qui serait demandée dans l'hypothèse où le client n'aurait aucun prix à payer; il correspond à la quantité la plus grande susceptible d'être demandée. Il s'agit d'une valeur finie.

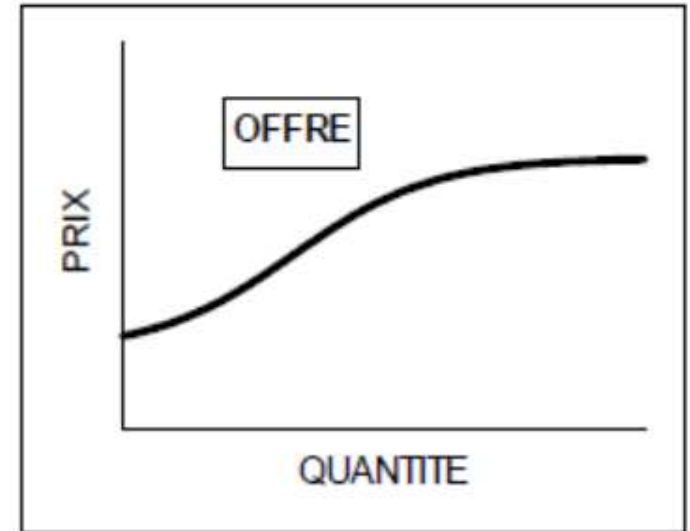


Le prix à partir duquel aucun client ne demande une seule quantité d'un bien économique (correspondant à l'intersection de la courbe avec l'axe des prix) est appelé ***prix prohibitif***.

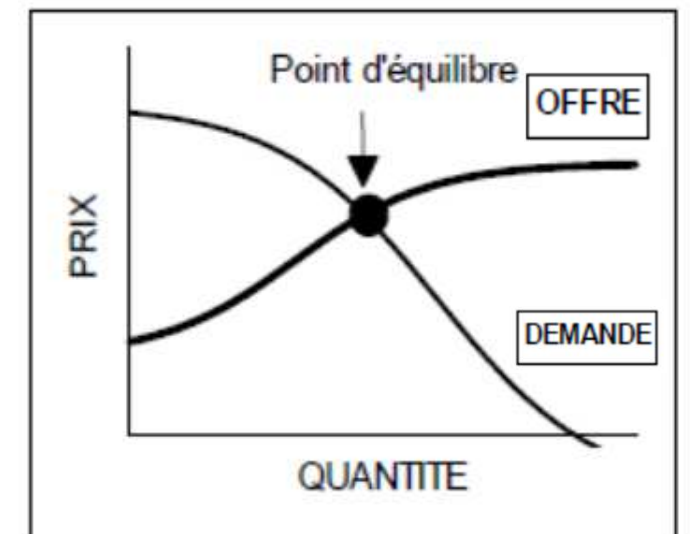
C'est le prix qui découragerait le client le plus riche et le plus avide d'acheter le bien en question. Il s'agit aussi d'une valeur finie.

Définition générale: Demande et Offre

La **fonction de l'offre** exprime la relation entre le prix unitaire possible d'une marchandise et la quantité de cette marchandise que les producteurs sont disposés à fournir à un moment donné. Il s'agit généralement d'une fonction croissante.



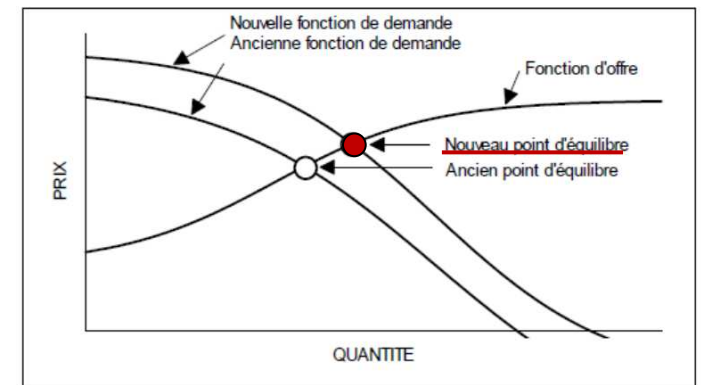
La confrontation des fonctions de demande et d'offre dans un marché donné aboutit à la détermination du **point d'équilibre**. Ce point correspond à la quantité demandée qui est égale spontanément à la quantité offerte et ceci pour un prix appelé prix d'équilibre.



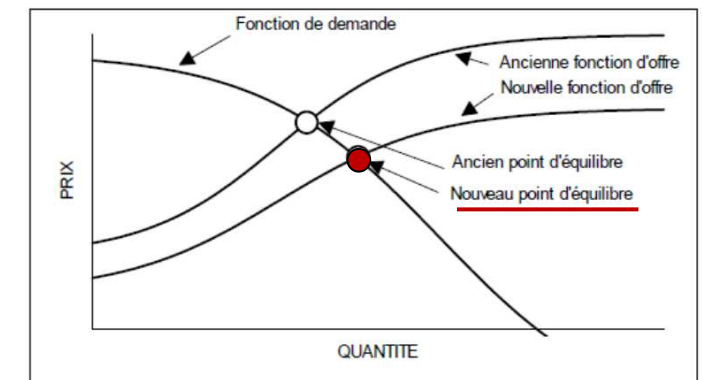
Définition générale: Demande et Offre

Le terme à *un moment donné* intervient dans l'ensemble des définitions présentées ci-dessus. Son rôle est de souligner qu'il s'agit de fonctions établies pour une situation, une époque, une structure du marché données. Si cette situation venait à changer, d'autres fonctions de demande ou (et) d'offre devraient être prises en considération.

L'exemple 1: **Élévation du pouvoir d'achat** des consommateurs provoquant un décalage de la courbe de la demande: un nouveau point d'équilibre s'établira, correspondant à une consommation accrue du bien économique à un prix d'équilibre plus élevé.



L'exemple 2: Une **amélioration des procédés de fabrication** peut entraîner un décalage de la courbe de l'offre: le nouveau point d'équilibre correspondra à une consommation accrue du bien à un prix unitaire inférieur.



Définition générale: **Demande et Offre**

E (élasticité) = Variation de la demande en % / Variation du prix en %.

Normalement, **l'élasticité est négative, la demande baisse quand le prix augmente** (ou le contraire). Lorsque l'élasticité est faible (proche de zéro), la demande varie peu en fonction du prix; c'est notamment le cas des produits de première nécessité (lait, pain, etc.) ou si aucun biens de substitution n'est proposé par le marché. Une demande parfaitement inélastique ($E = 0$) ou une demande parfaitement élastique ($E = \infty$) est représenté par un droite horizontale, respectivement verticale.

On dira ainsi qu'une demande est très élastique lorsque la valeur absolue de l'élasticité est élevée, ce qui correspond à une fonction fortement décroissante, c'est-à-dire à une demande très sensible au prix. A l'inverse, une **demande inélastique, correspondant à des valeurs d'élasticité proches de zéro**, est une demande peu sensible aux modifications de prix; la courbe de la demande s'approcherait, dans ce cas, d'une droite verticale.

Définition générale: **Elasticité**

Méthode CFF de calcul de l'élasticité de la demande par rapport à l'offre :

- Élasticité liée à l'évolution du temps de parcours = -1.0
- Élasticité liée à l'évolution de l'offre (cadence) = 0.4

Ce qui signifie :

Une réduction du temps de parcours de -50%, augmente la demande de +50%

Une augmentation des cadences de +50%, augmente la demande de +20%

À la place des cadences, on peut exprimer l'offre en nombre de places afin de tenir compte de l'effet « tram » (capacités et confort).

A cette élasticité s'ajoute à la croissance « naturelle » de la demande (croissance démographique ou économique)

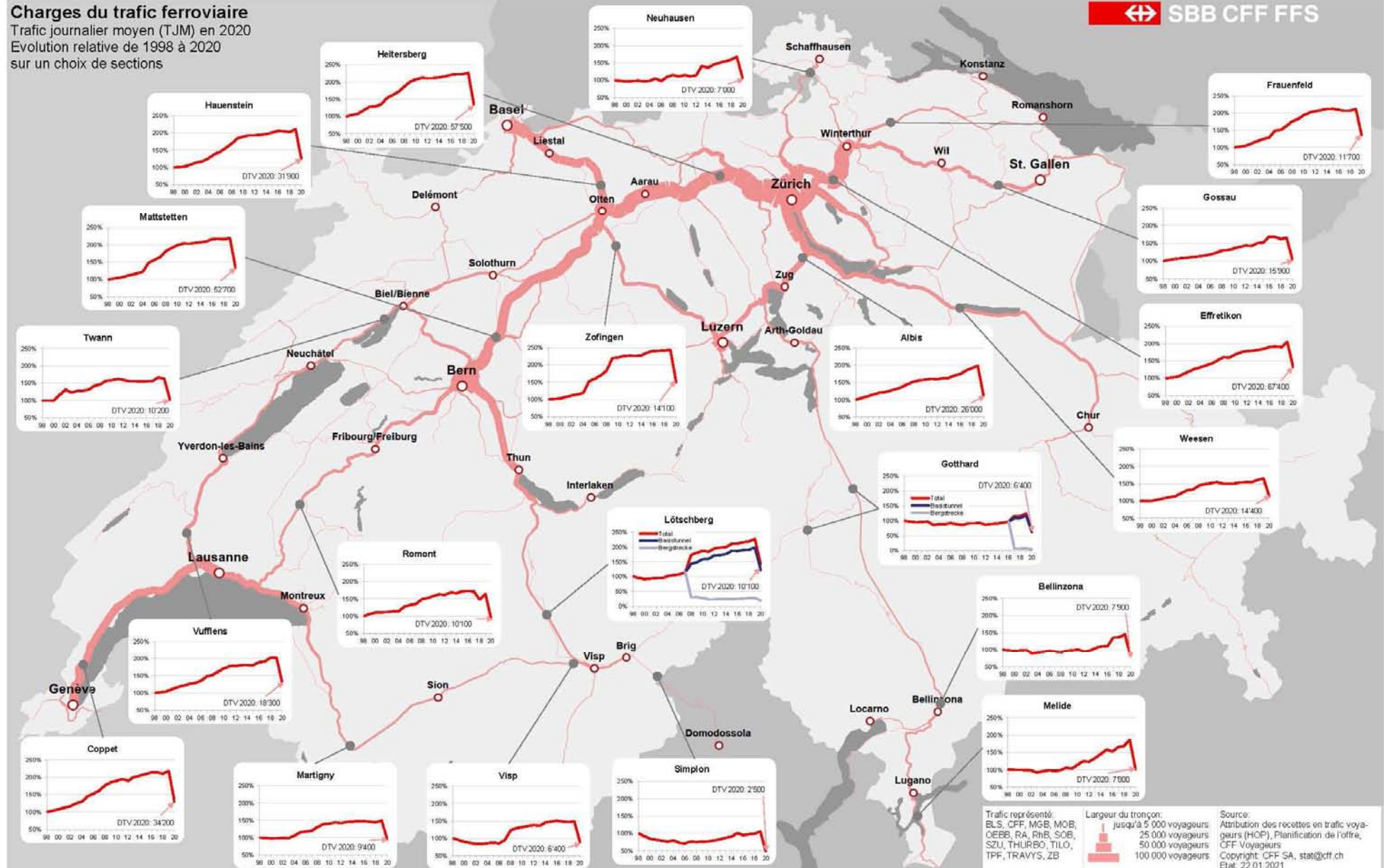
A titre d'exemple, sur les 20 dernières années, la croissance de la demande globale TPG a suivi parfaitement celle de l'offre globale TPG avec une élasticité simple de 1.0.

En plus des 3 facteurs mentionnés ci-dessus se sont ajoutés à Genève les restrictions de parking au centre-ville et la dégradation des temps de parcours VP.

Ces deux éléments ne sont pas pris en compte dans la méthode CFF. Pourtant il est clair qu'une bonne partie de la croissance de la demande aux heures de pointe entre Lausanne et Genève est causée par la saturation de l'autoroute.

Charges du trafic ferroviaire

Trafic journalier moyen (TJM) en 2020
Evolution relative de 1998 à 2020
sur un choix de sections

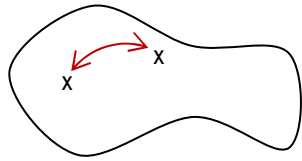


2. Demande

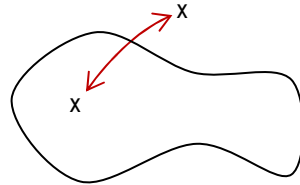
Où- Pourquoi-Comment-Quand

Demande : Déplacements- Répartition spatiale

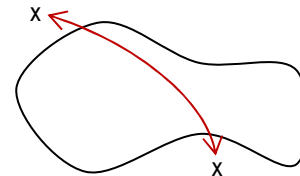
Selon origine et destination



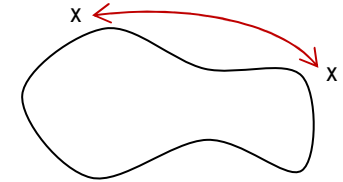
Trafic local ou interne



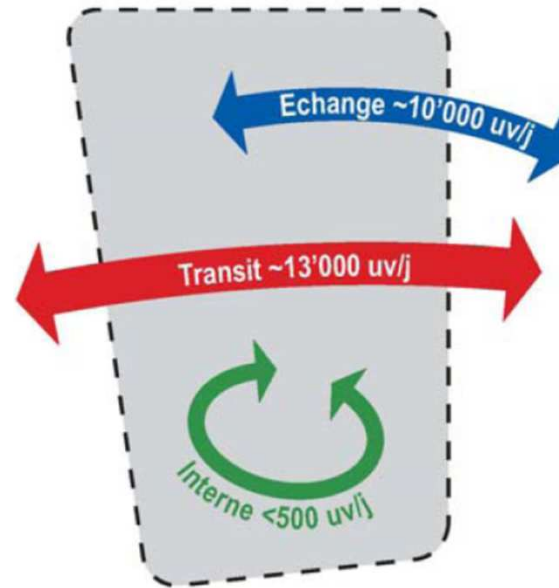
Trafic O-D



Trafic de transit



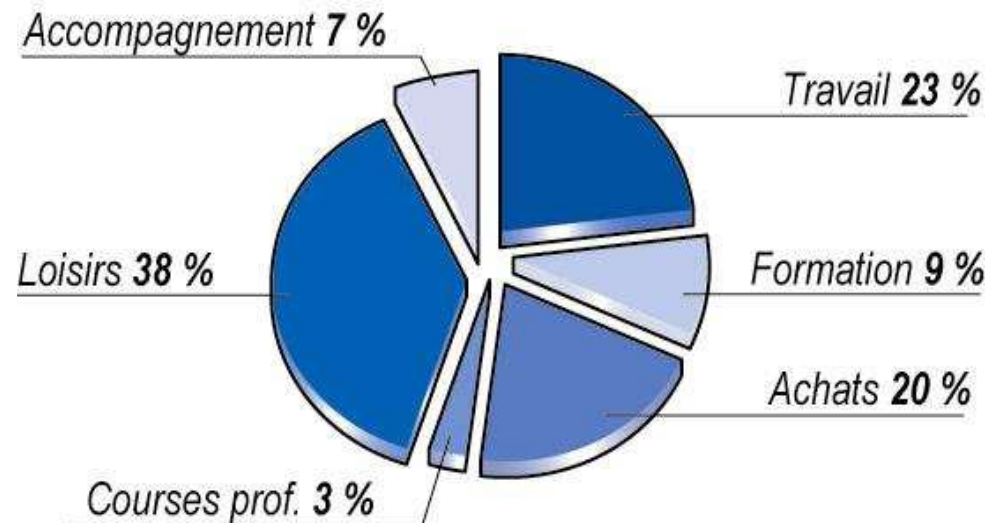
Trafic étranger



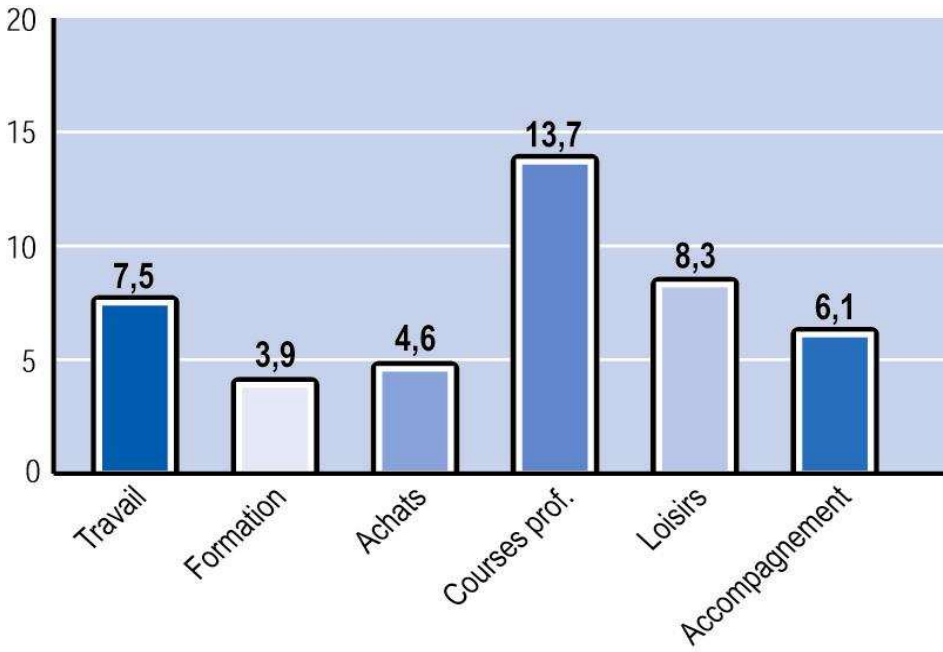
Demande : Déplacements- Répartition causale

Selon le motif de déplacement

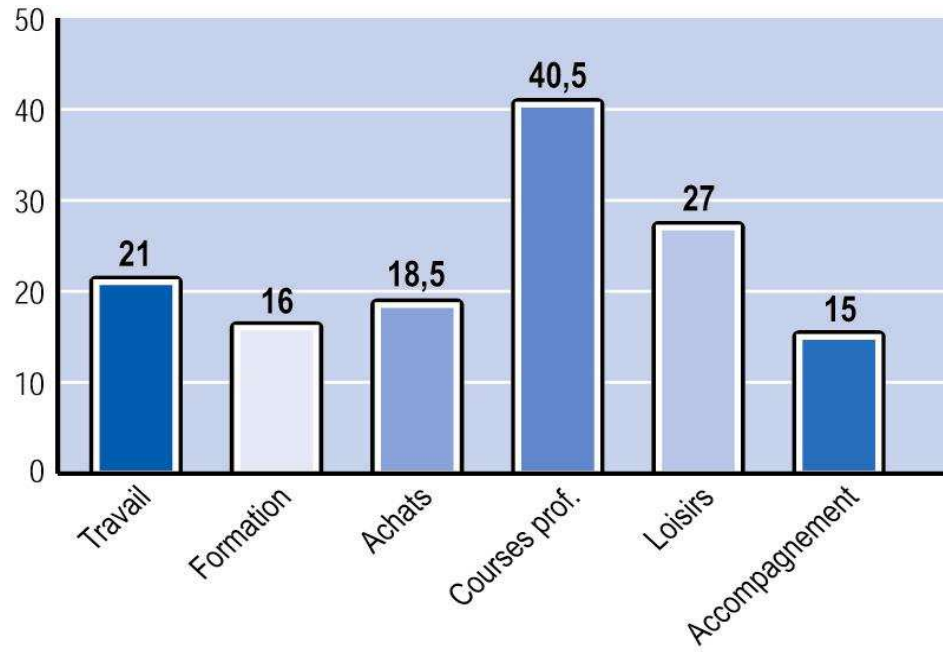
- Trafic pendulaire
- Trafic d'achat et de services
- Trafic professionnel
- Trafic de loisirs



Demande : Déplacements- Répartition causale (distance et temps)



Distance moyenne par motif de déplacement (en km)

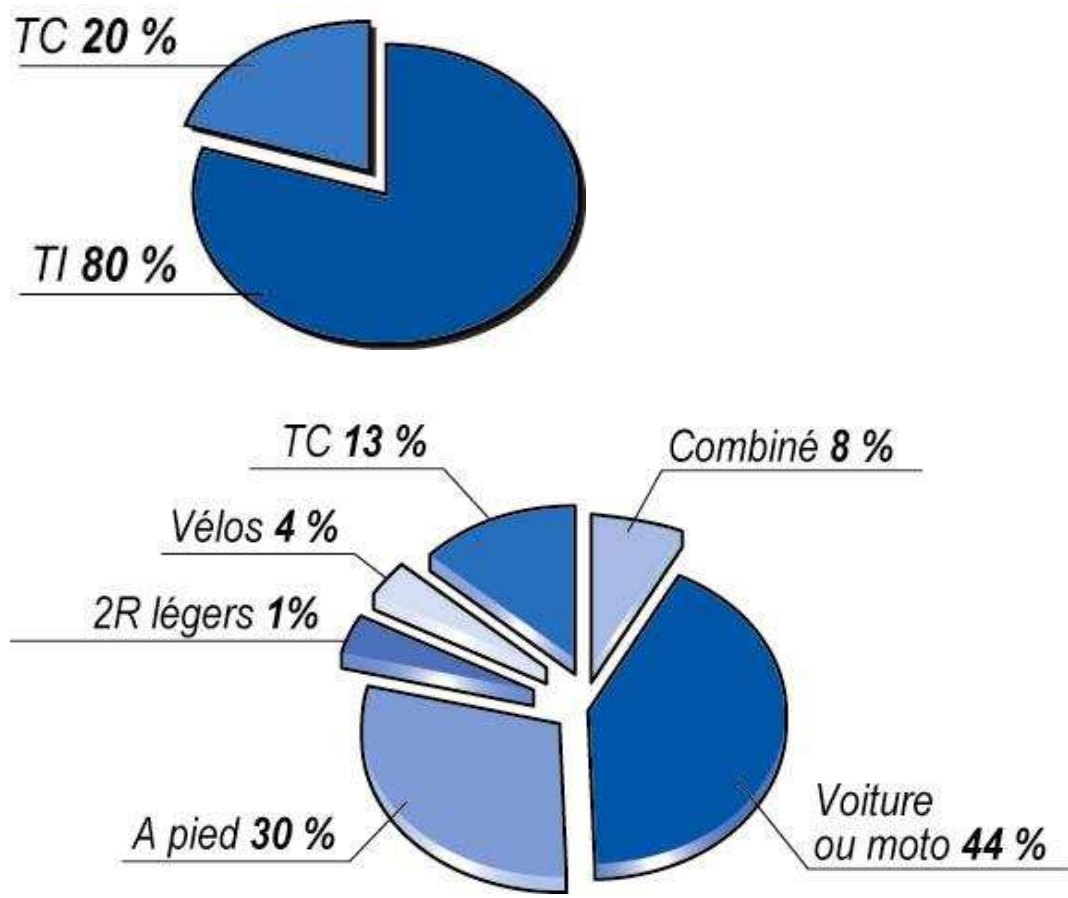


Durée moyenne par motif de déplacement (en minute)

En termes de distance moyenne ou de durée moyenne, à part les courses professionnelles, c'est pour les loisirs que l'on se déplace en moyenne le plus loin et le plus longtemps.

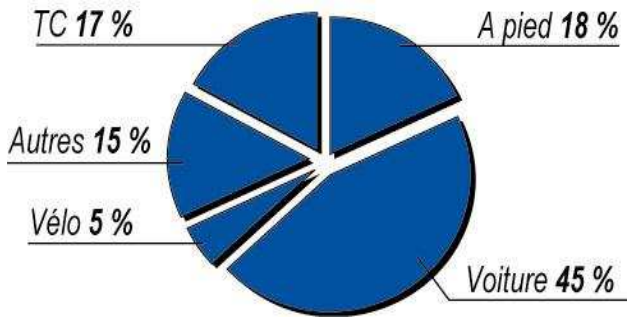
Demande : Déplacements- Répartition modale

Selon le mode de transport utilisé

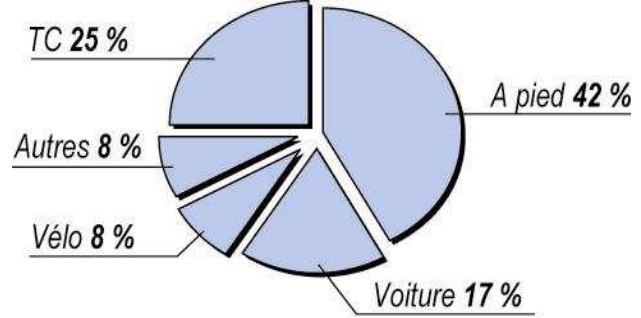


Demande : Déplacements- Répartition modale (motif)

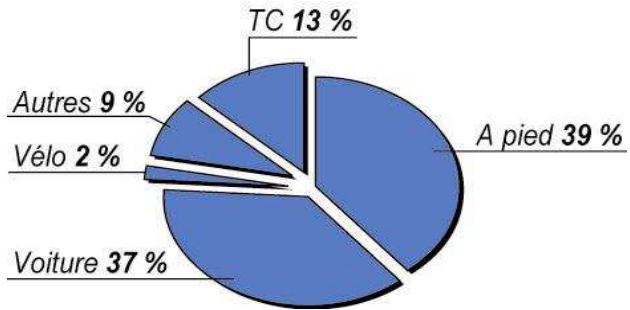
Travail



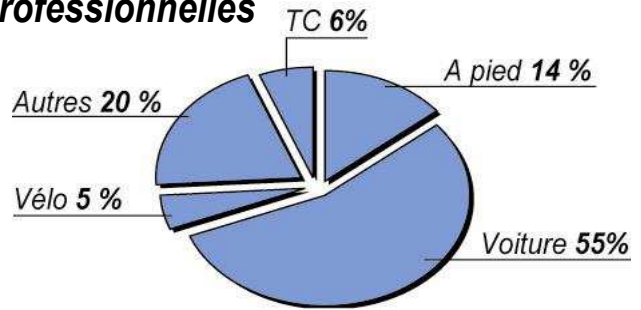
Formation



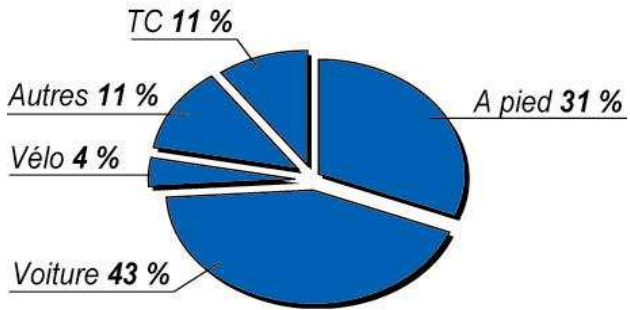
Achats



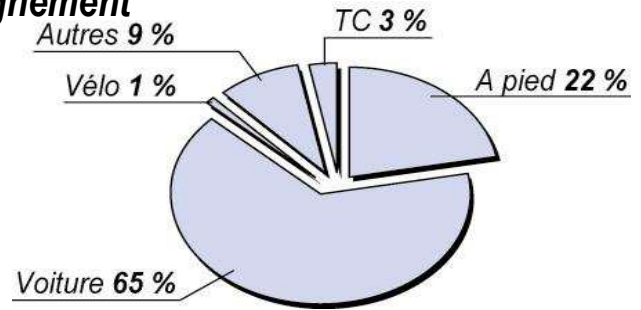
Courses professionnelles



Loisirs



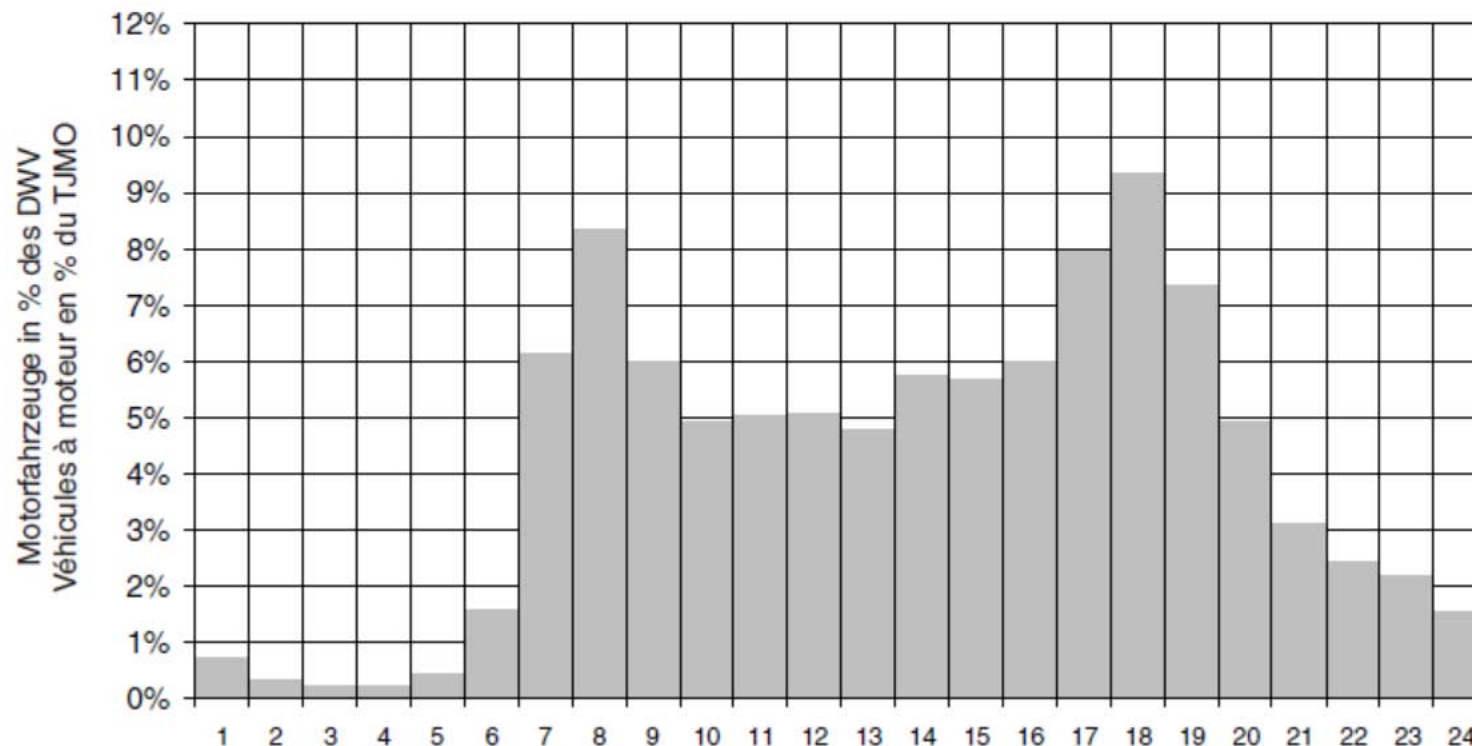
Accompagnement



Demande : Déplacements- Répartition temporelle

Selon les **variations journalières** (HPM, HPS) exemple du Trafic pendulaire

- Très fortes pointes tant le matin que le soir
- Peu de différences entre ces pointes
- Sur quelques sections de comptage, l'heure de pointe du matin peut être plus grande que celle du soir



Norme VSS 640005a Courbe de variation caractéristiques

Demande : Déplacements- Répartition temporelle – Le TJM

Trafic journalier moyen

En véhicules/jour et selon les deux directions

- TJM ou TJM_{24} Annuel
- TJM_O Jours ouvrables (du lundi au vendredi)
- TJM_{WE} Week-end (samedi et dimanche)
- $TJM_{14} \approx 0.85 - 0.90 TJM_{24}$ Entre 7h et 21h

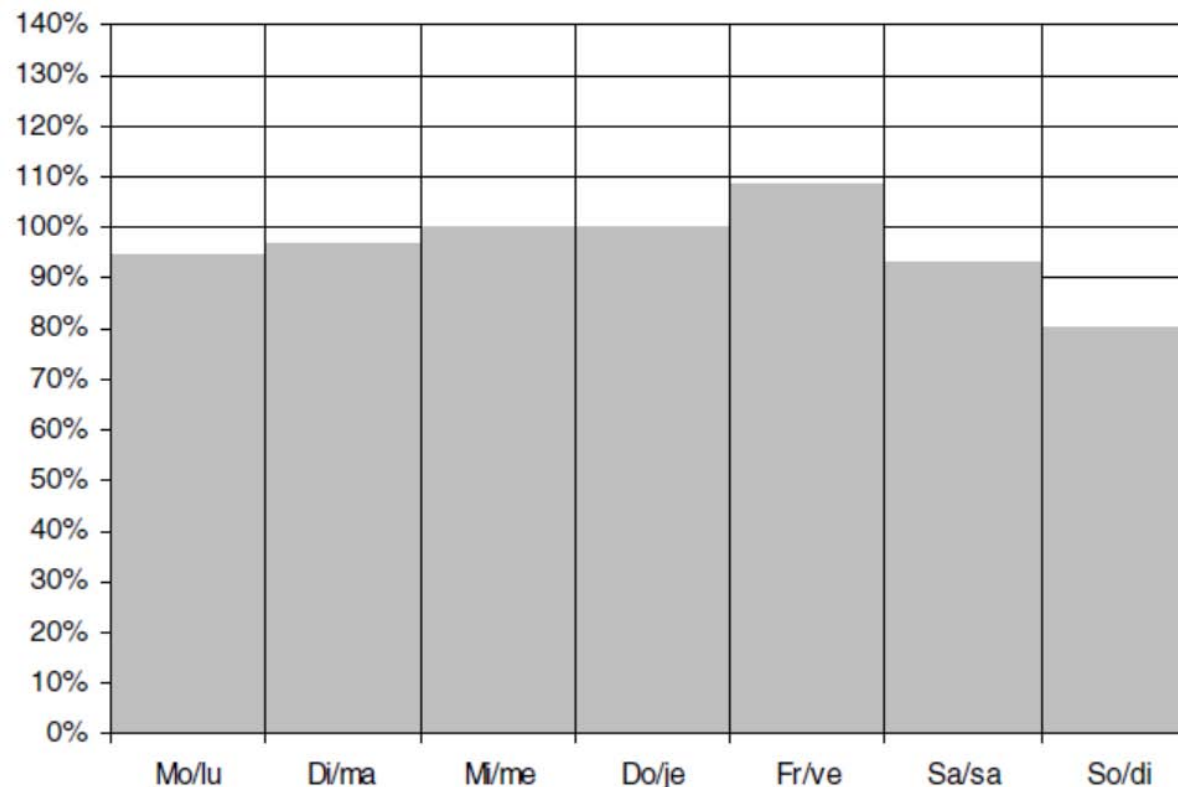
En plus du TJM (24 heures) et du TJMO (24 heures), on utilise également des durées de 5, 14, 16 voire 17 heures (15h00 à 20h00; 07h00 à 21h00; 06h00 à 22h00; 05h00 à 22h00).

Lorsqu'il faut analyser le bruit, on distingue le trafic de jour (de 06h00 à 22h00) de celui de nuit (de 22h00 à 06h00)

Demande : Déplacements- Répartition temporelle

Selon les **variations hebdomadaire** exemple du Trafic local et trafic pendulaire

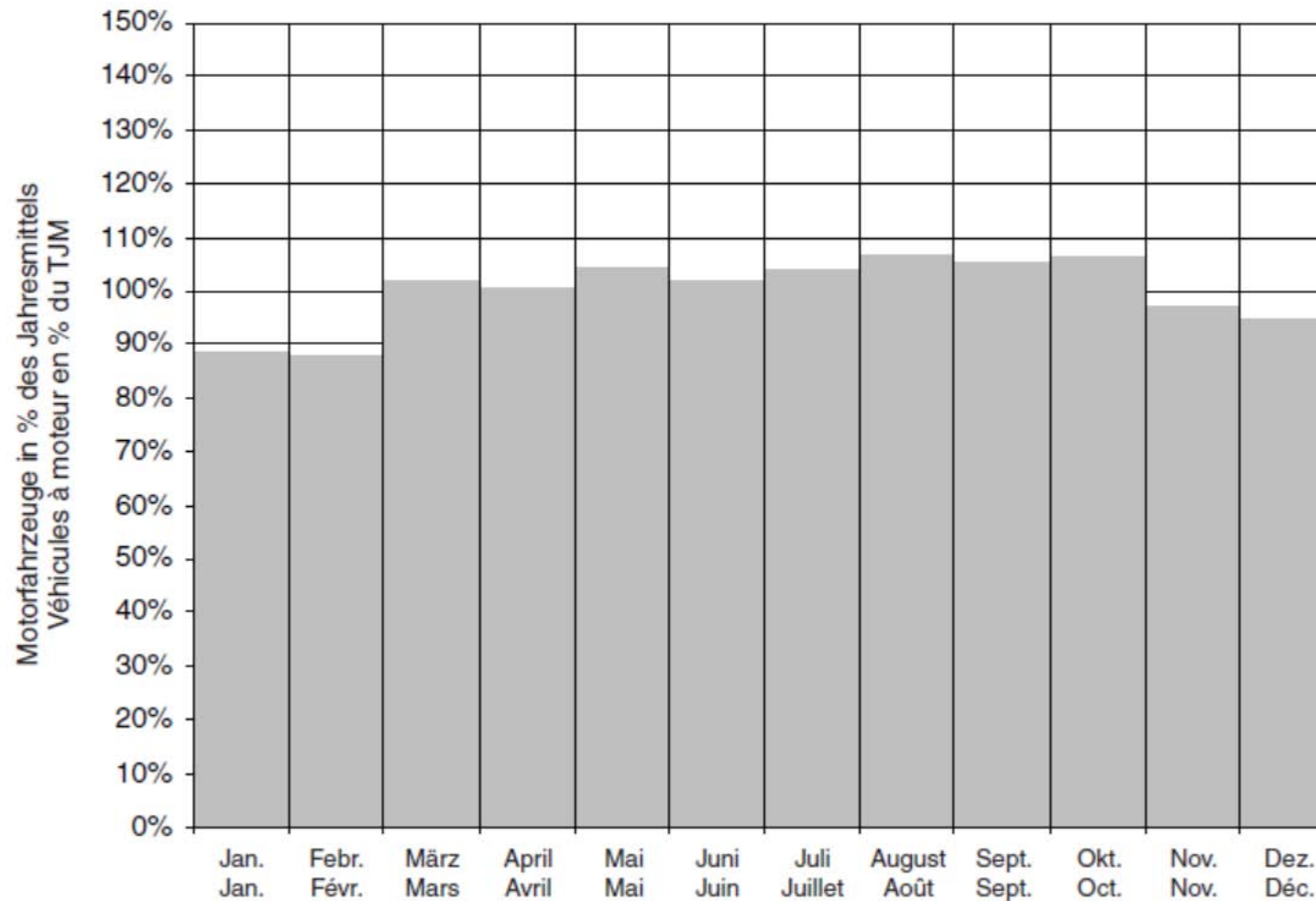
- Trafic le week-end plus faible que durant la semaine
- Trafic le plus fort le vendredi



Norme VSS 640005a Courbe de variation caractéristiques

Demande : Déplacements- Répartition temporelle

Selon les **variations annuelles** exemple Trafic pendulaire et trafic local
Courbe annuelle très peu accentuée



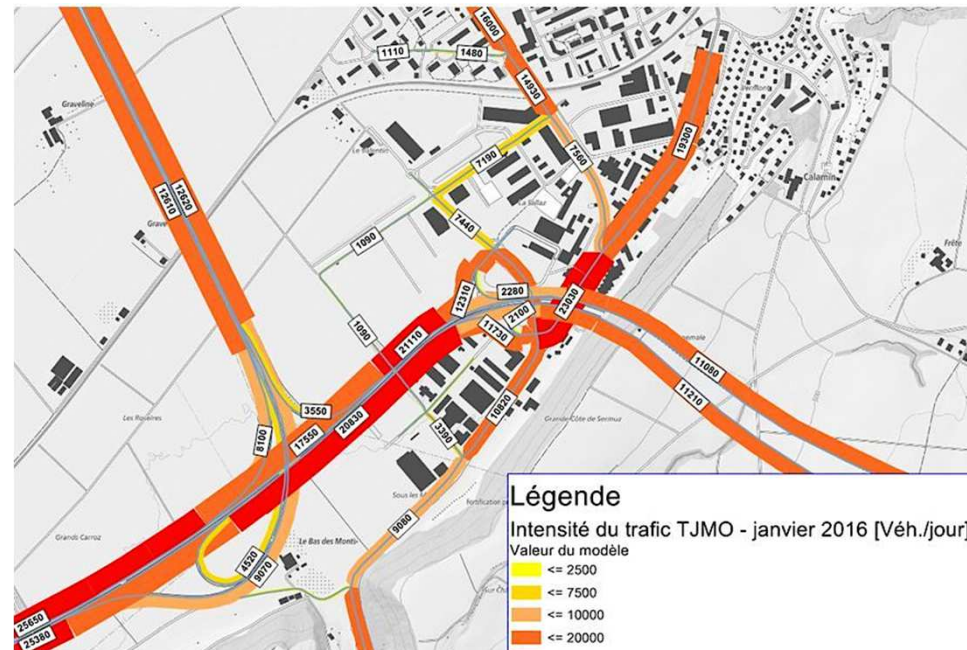
Norme VSS 640005a Courbe de variation caractéristiques

Demande : Représentations

Matrice Origine-Destination

		Destinations		
		1	2	3
Origines	1			
	2			
	3			

Plan de charge



Source : swisstraffic.ch

3. La demande: Charges de trafic

Comment la représenter?

Comment la déterminer ?

Quelques fournisseurs

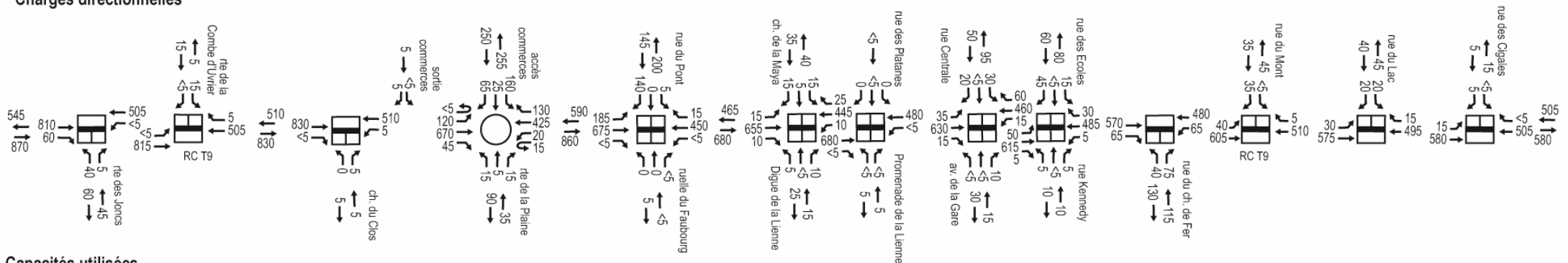
Analyse des charges routières

Représentation: La demande Heure de pointe

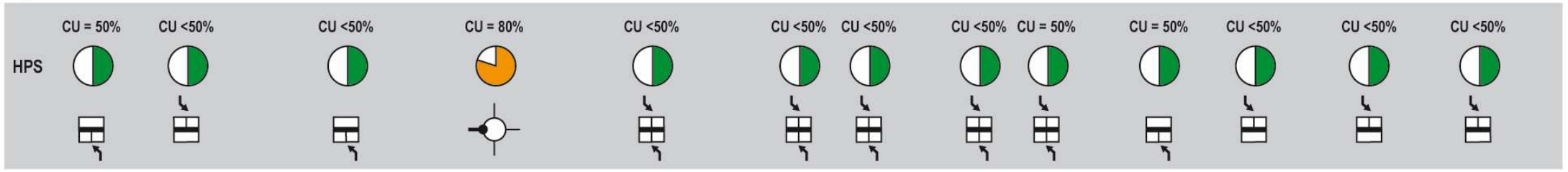
Charges aux heures de pointe

- Unités
- Arrondis
- Distinction de sens et valeurs directionnelles
- Equilibrer

HEURE DE POINTE DU SOIR 2015 (HPS ; 17h-18h)
Charges directionnelles



Capacités utilisées



Légende :
 XXX Charges de trafic directionnelles actuelles (2015/16)
 à l'heure de pointe du matin (HPM) et du soir (HPS) [uv/h]
 Source : comptage manuel Citec, mardi 12/11/15

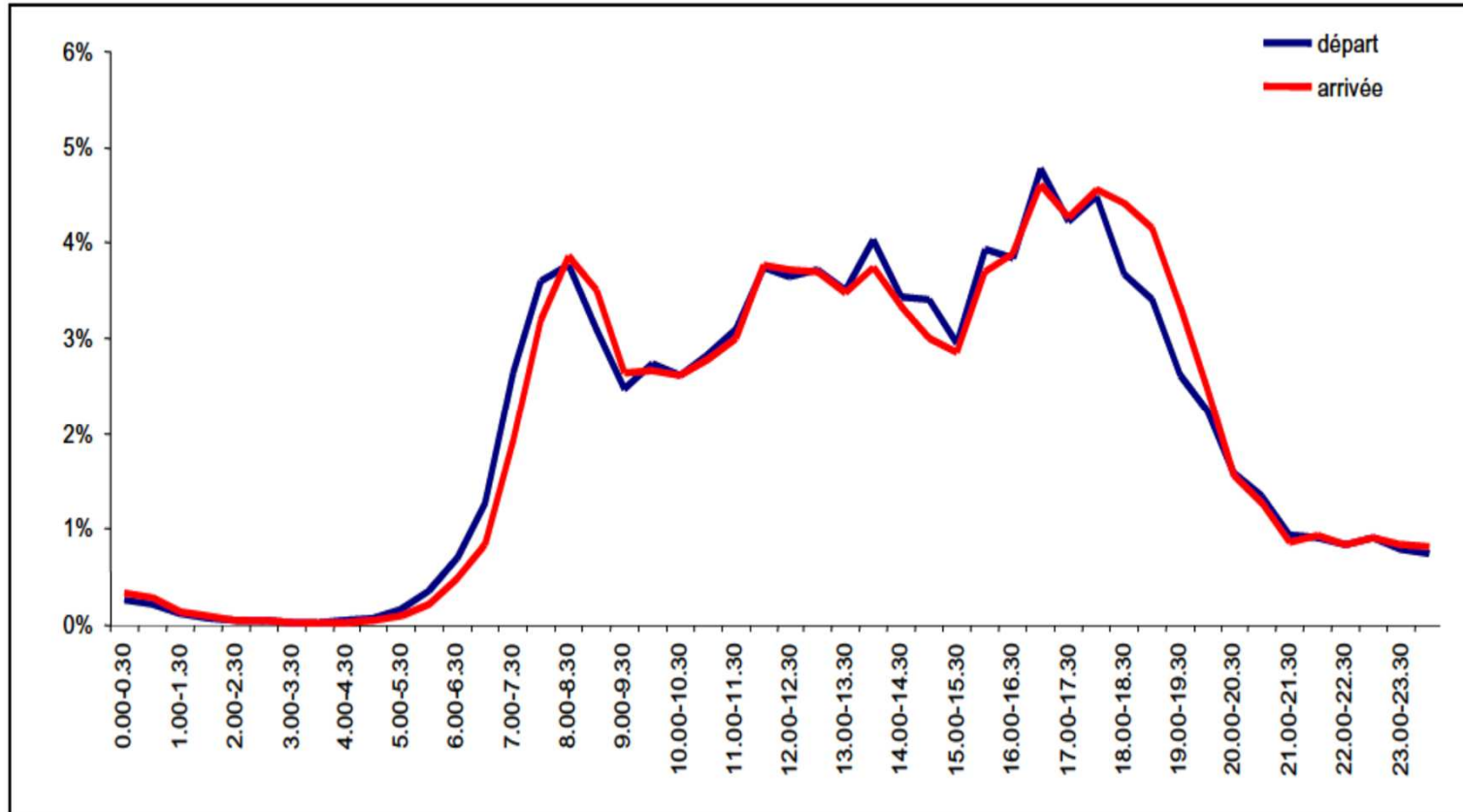
CU = xx% Capacité utilisée théorique du carrefour [%]

Branche / mouvement déterminant

Représentation: La demande journalière

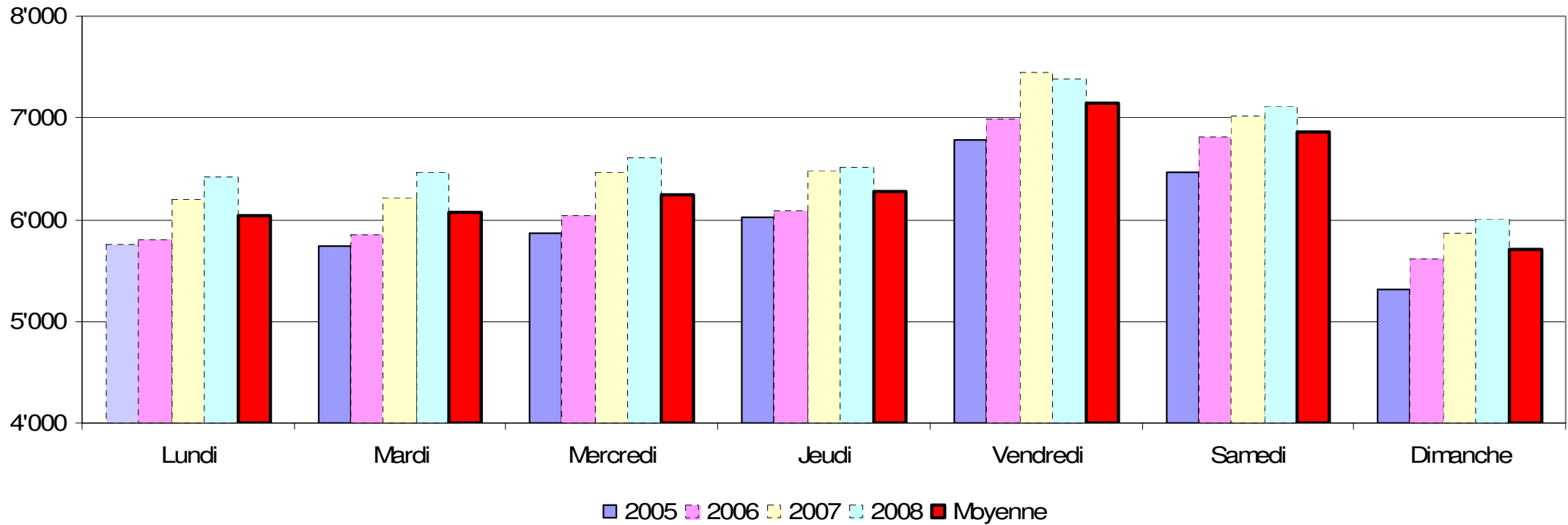
Charges aux heures de pointe

- Notion d'HPM et HPS
- HPM ou HPS = env.10% de TJOM



Représentation: La demande hebdomadaire

COMPARAISON DES TJM PAR JOUR 05-08



Représentation: La demande tableau hebdomadaire

Tableau hebdomadaire

Valeurs horaire (en temps réel)

Transversale: A21MO Tunnel de Collombey
 Directions: St. Triphon
 Voies: 1
 Classes: Bus, MO, VA, VA+, VL, VL+R, VLSR, C, C+, CSR
 Période: mar 01.12.2009 bis lun 07.12.2009
 Divers: Jours fériés NON ignorés, Travaux NON ignorés

Valeurs horaire

Date	01.12.09	02.12.09	03.12.09	04.12.09	05.12.09	06.12.09	07.12.09				
Jour semaine	mar	mer	jeu	ven	sam	dim	lun	lun-dim	lun-ven	mar-jeu	sam-dim
00-01:	7	9	12	7	9	42	4	13	8	9	26
01-02:	3	2	3	4	12	30	0	8	2	3	21
02-03:	2	1	2	0	14	18	0	5	1	2	16
03-04:	5	2	3	8	9	7	1	5	4	3	8
04-05:	9	15	9	7	8	14	12	11	10	11	11
05-06:	73	71	71	64	27	17	79	57	72	72	22
06-07:	305	292	326	290	70	22	262	224	295	308	46
07-08:	335	346	368	332	99	38	356	268	347	350	68
08-09:	184	187	213	194	147	58	190	168	194	195	102
09-10:	143	177	169	153	214	97	163	159	161	163	156
10-11:	145	150	161	156	242	161	173	170	157	152	202
11-12:	140	152	141	172	187	190	173	165	156	144	188
12-13:	152	172	175	168	178	181	181	172	170	166	180
13-14:	222	231	241	232	200	211	235	225	232	231	206
14-15:	115	158	185	173	203	261	172	181	161	153	232
15-16:	153	184	176	175	232	331	185	205	175	171	282
16-17:	207	226	253	258	222	346	238	250	236	229	284
17-18:	197	194	219	275	215	274	201	225	217	203	244
18-19:	125	136	168	183	184	169	133	157	149	143	176
19-20:	111	106	127	141	121	145	89	120	115	115	133
20-21:	53	52	65	80	57	77	47	62	59	57	67
21-22:	46	46	50	37	42	50	47	45	45	47	46
22-23:	36	26	22	43	22	26	17	27	29	28	24
23-00:	20	9	14	36	22	10	22	19	20	14	16

Valeurs journal.

00-24:	2'788	2'944	3'173	3'188	2'736	2'775	2'980	2'941	3'015	2'968	2'756
06-22:	2'633	2'809	3'037	3'019	2'613	2'611	2'845	2'795	2'869	2'826	2'612
22-06:	155	135	136	169	123	164	135	145	146	142	144

Pointe matin

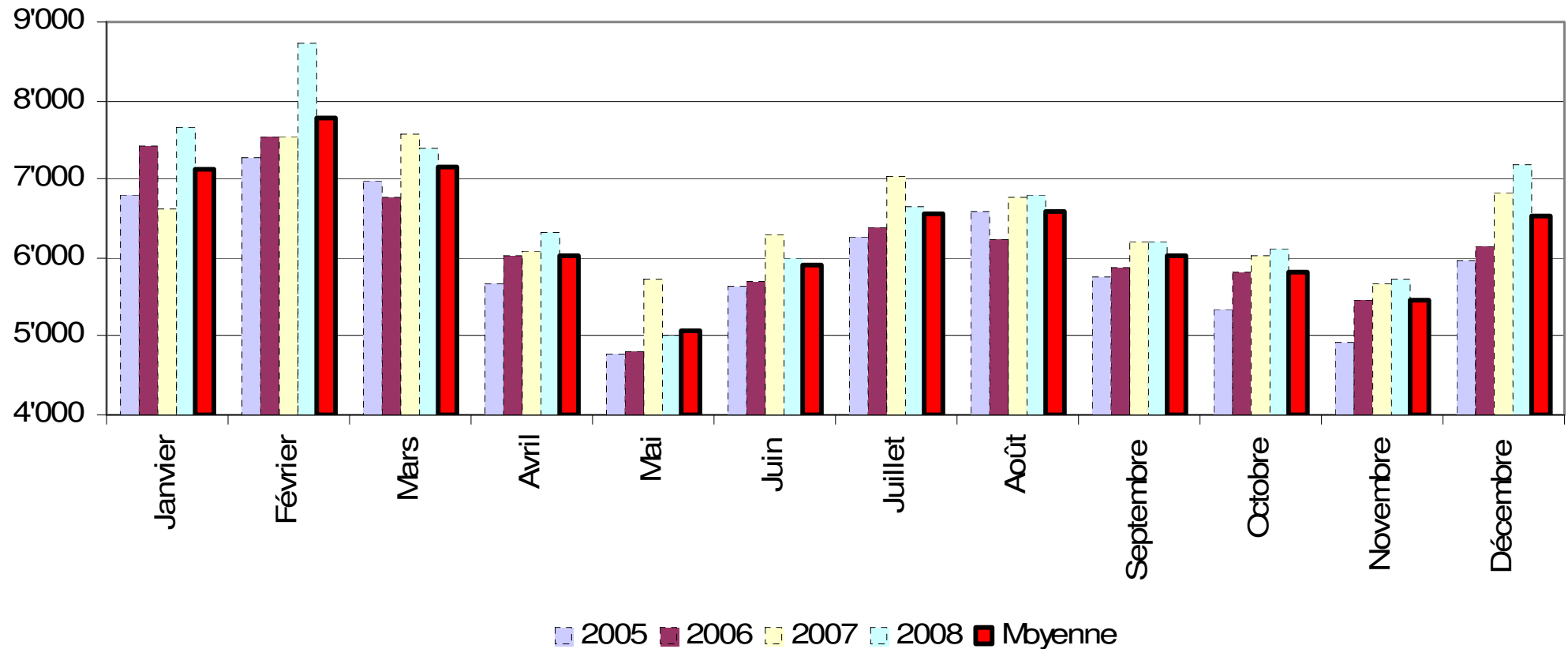
Heure de:	7:00	7:00	7:00	7:00	10:00	10:00	7:00				
Heure jusqu'à:	8:00	8:00	8:00	8:00	11:00	11:00	8:00				
Valeur horaire	335	346	368	332	242	161	356	306	347	350	202
Facteur 1/4 h											
% de 00-24:	12%	12%	12%	10%	9%	6%	12%	10%	12%	12%	7%

Pointe soir

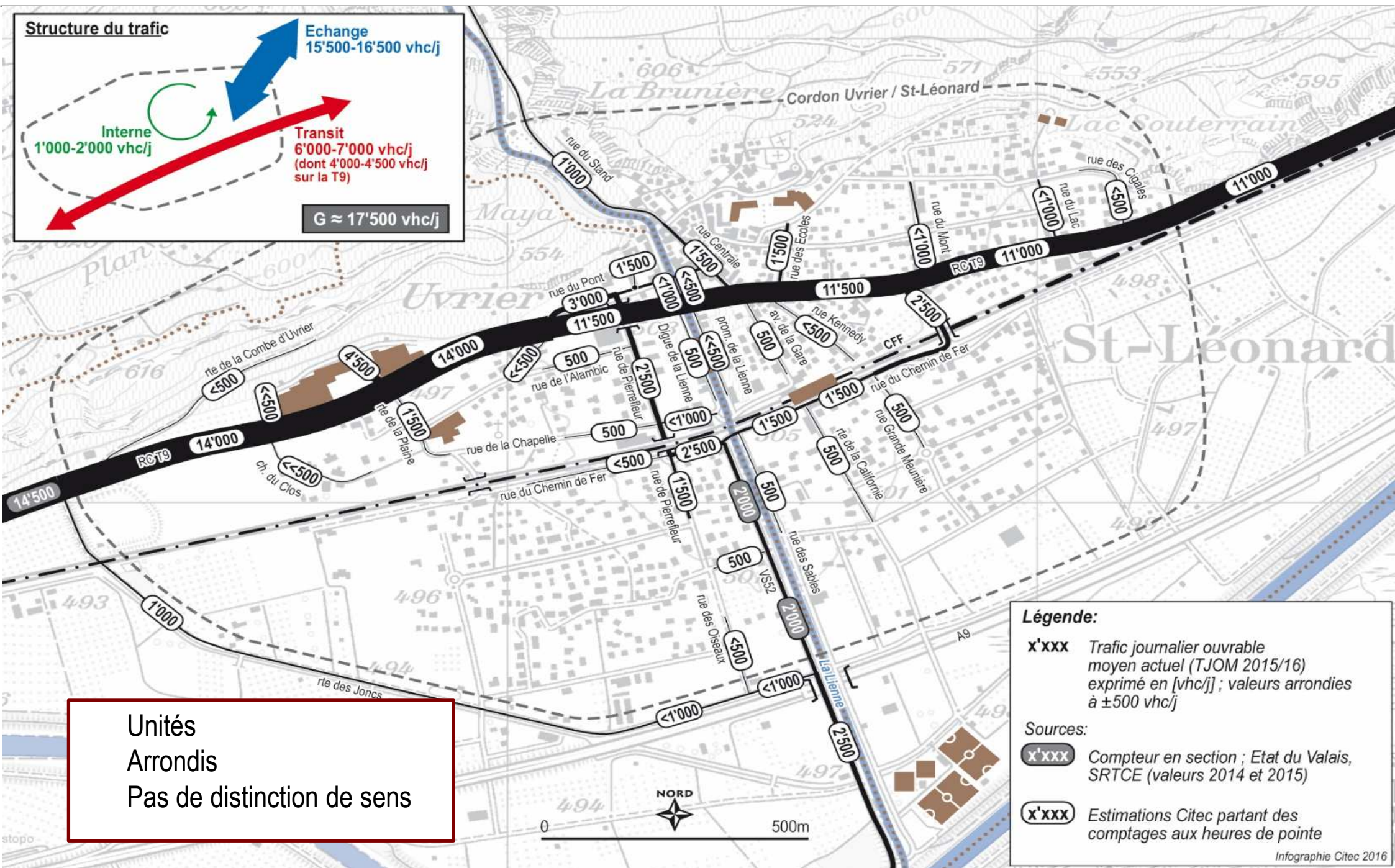
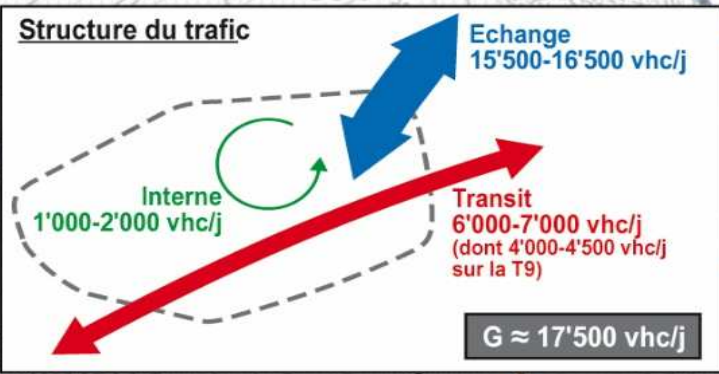
Heure de:	16:00	16:00	16:00	17:00	16:00	16:00	16:00				
Heure jusqu'à:	17:00	17:00	17:00	18:00	17:00	17:00	17:00				
Valeur horaire	207	226	253	275	222	346	238	252	240	229	284
Facteur 1/4 h											
% de 00-24:	7%	8%	8%	9%	8%	13%	8%	9%	8%	8%	10%

Représentation: La demande mensuelle

COMPARAISON DES TJM MENSUELS 05-08



Représentation: La demande TJOM



Unités
Arrondis
Pas de distinction de sens

Légende:

x'xxx Trafic journalier ouvrable moyen actuel (TJOM 2015/16) exprimé en [vhc/j] ; valeurs arrondies à ±500 vhc/j

Sources:

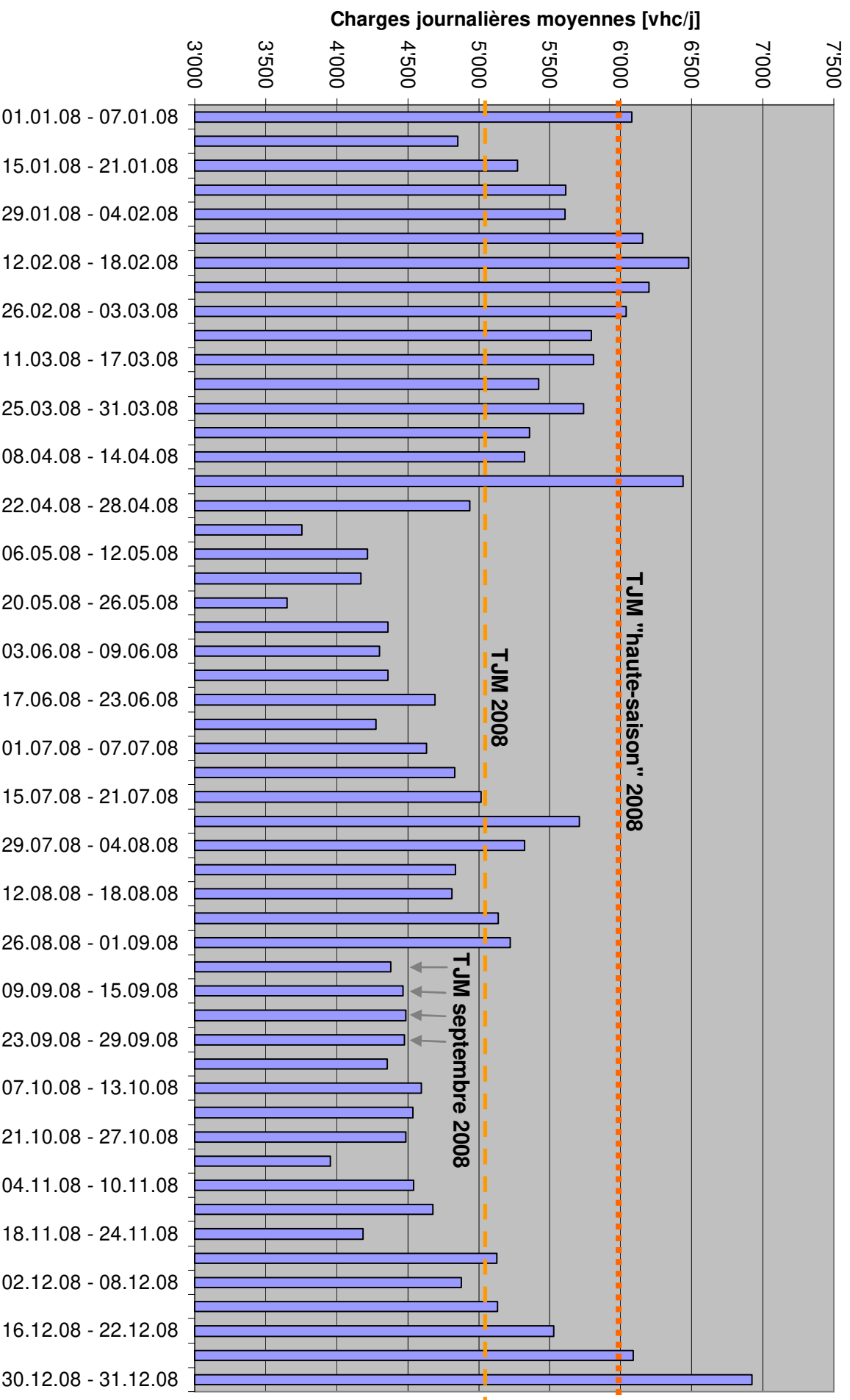
(x'xxx) Compteur en section ; Etat du Valais, SRTCE (valeurs 2014 et 2015)

(x'xxx) Estimations Citec partant des comptages aux heures de pointe

Infographie Citec 2016

Représentation: La demande annuelle

Charges hebdomadaires - Traversée de Villette

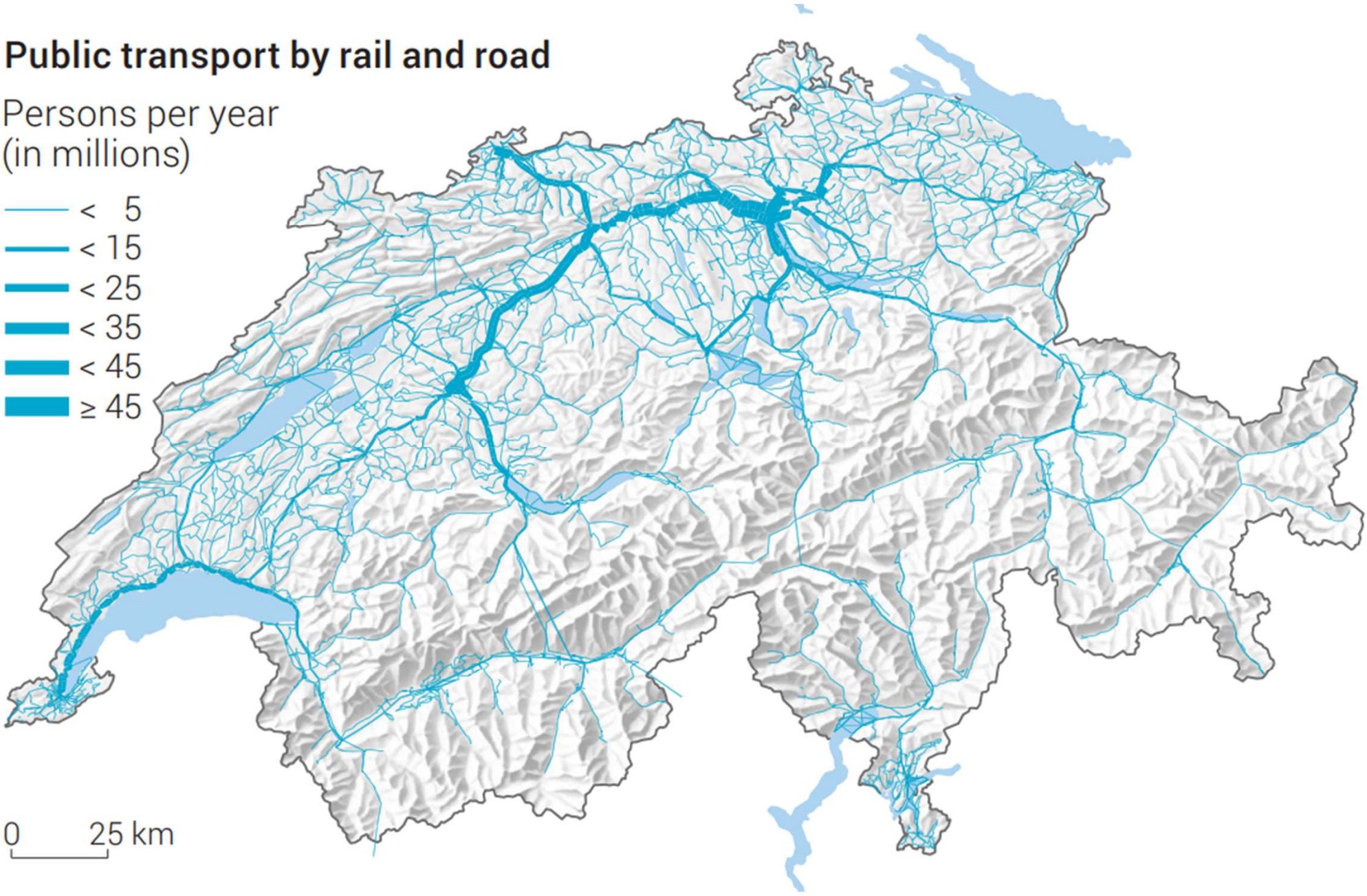


Représentation: La demande voyageurs route

Public transport by rail and road

Persons per year
(in millions)

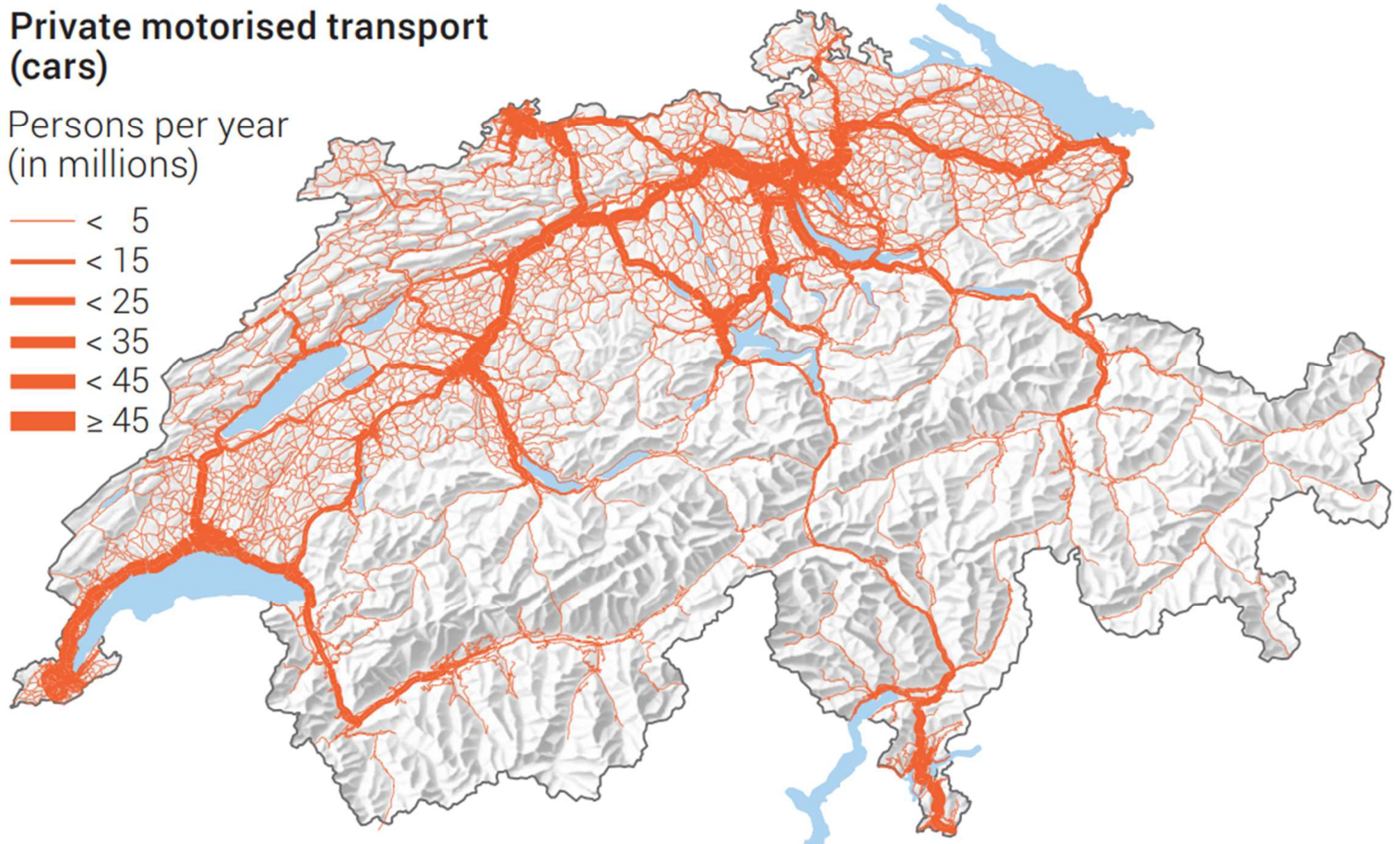
-  < 5
-  < 15
-  < 25
-  < 35
-  < 45
-  ≥ 45



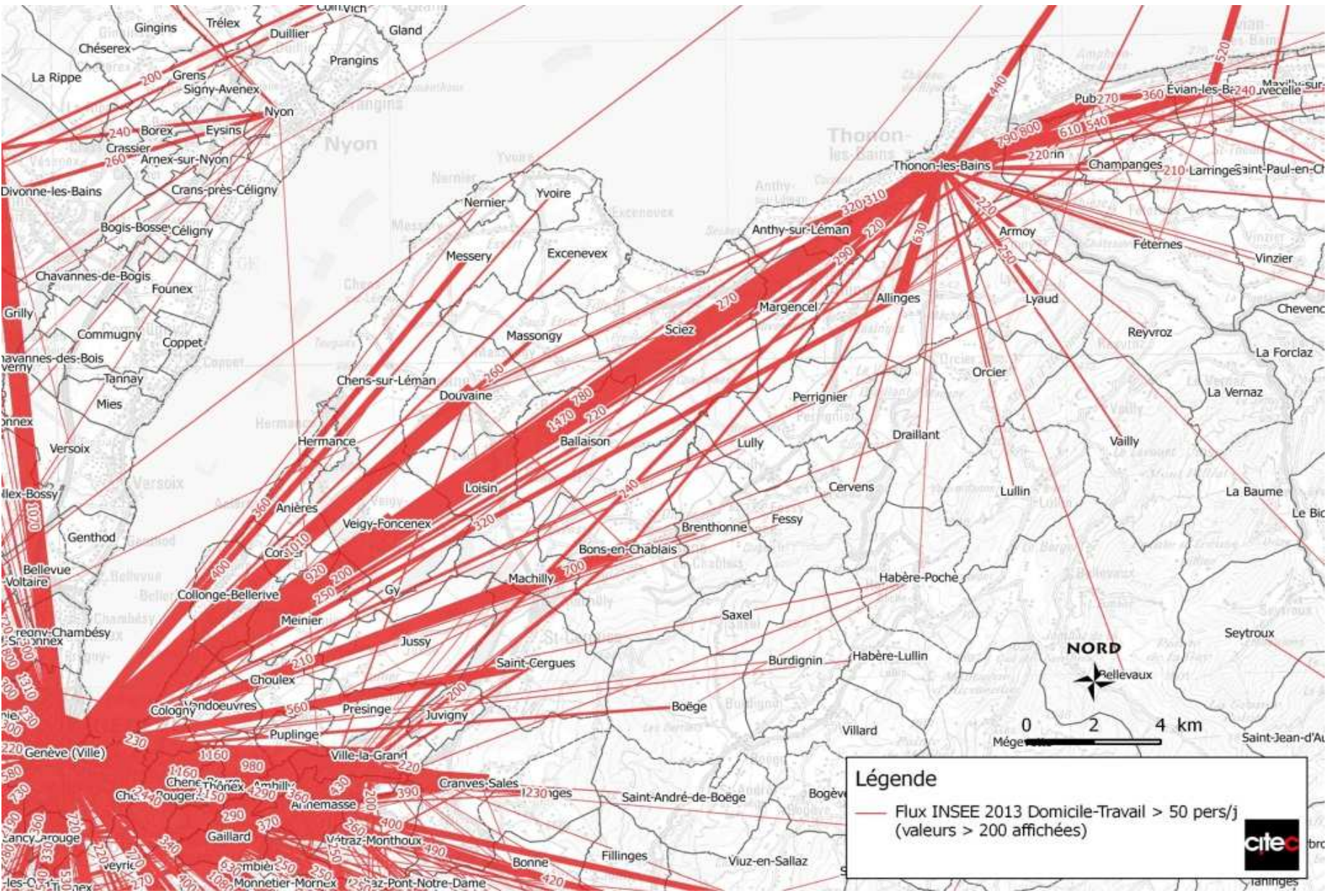
Passenger traffic flows in 2015

Private motorised transport (cars)

Persons per year
(in millions)

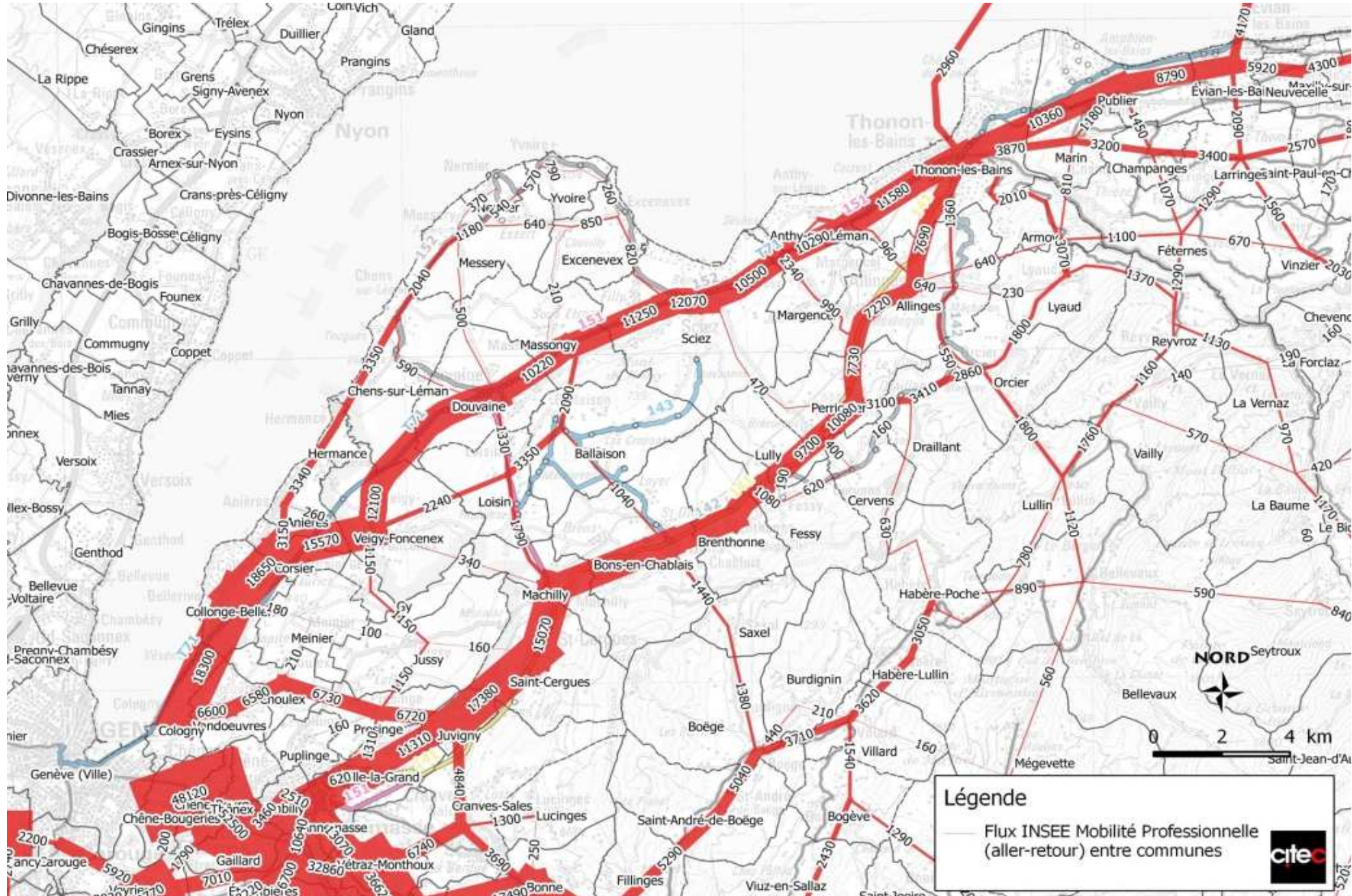


Représentation: Les OD voyageurs transport publics



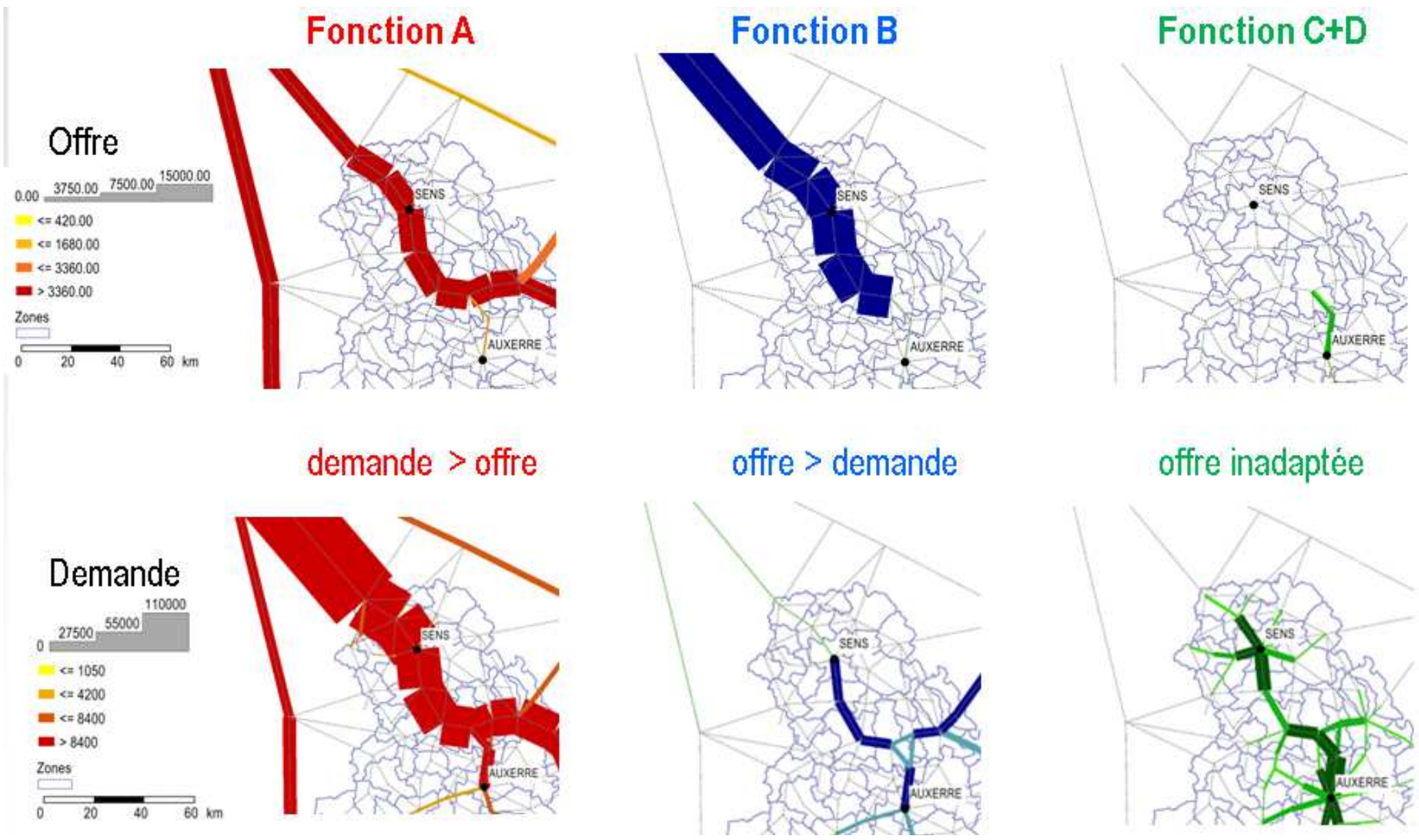
Flux OD pendulaires sur l'axe Thonon-Genève

Représentation: L'offre transport publics



Flux pendulaires cumulés sur l'axe Thonon-Genève

Représentation: L'offre – demande transport publics

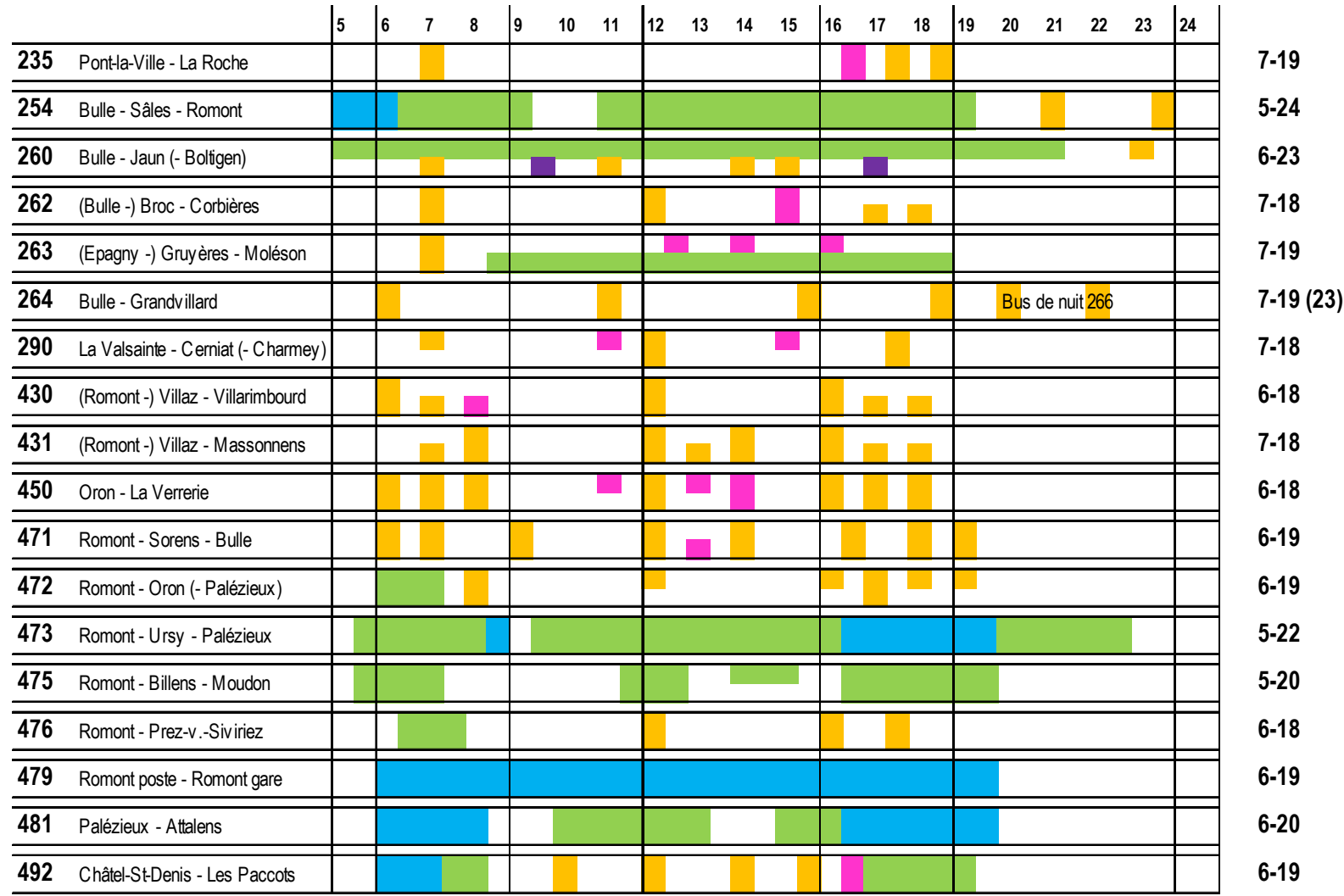


Axe Paris-Auxerre : Comparaison des capacités de l'offre et volumes de la

Représentation: L'offre journalière

Qualité de l'offre

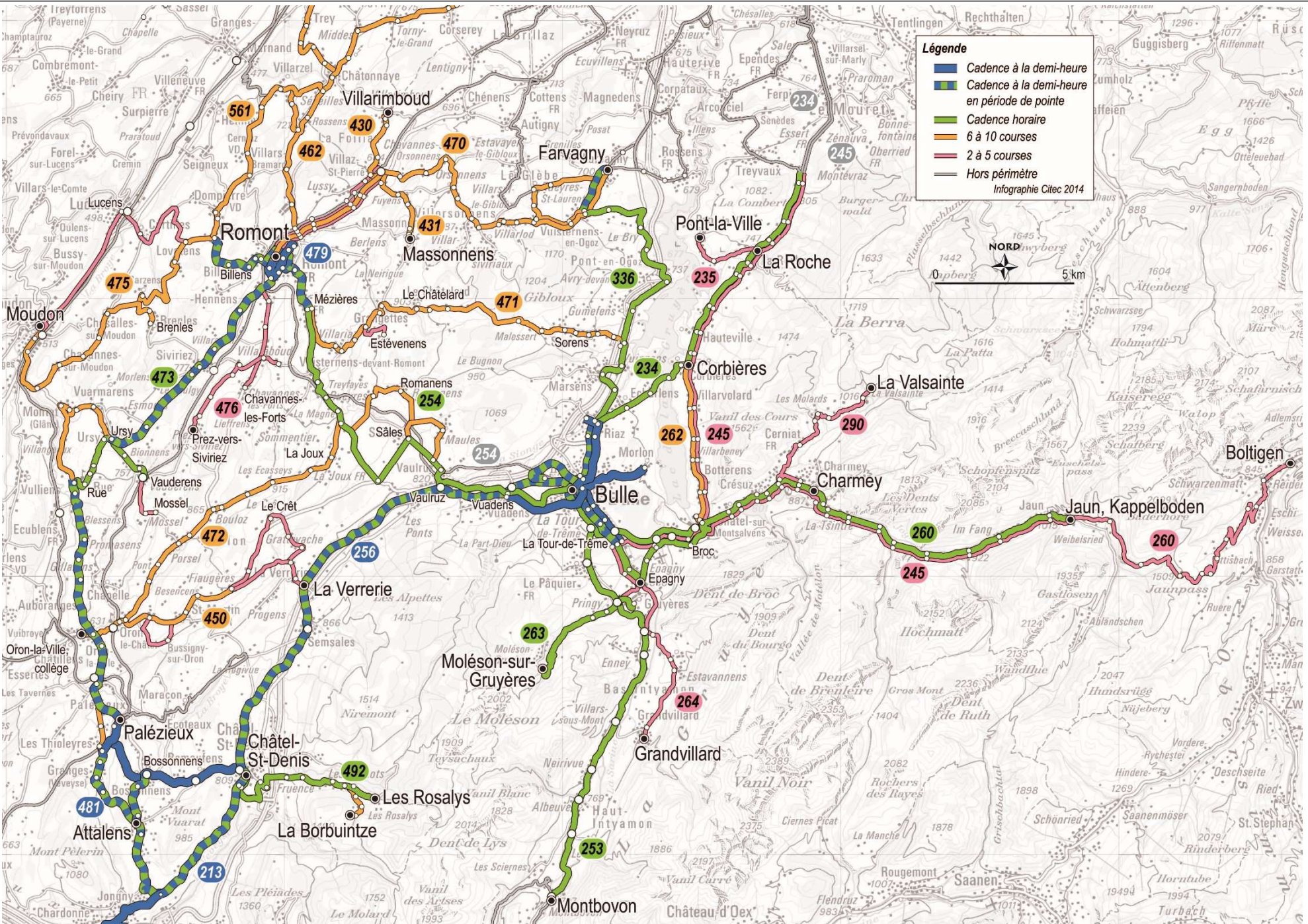
- Niveau de desserte et couverture temporelle



Horaire Lundi-vendredi

- Cadence 1/2 heure
- Cadence horaire
- Course isolée
- Renfort scolaire
- Renfort période touristique

Représentation: Niveau de desserte



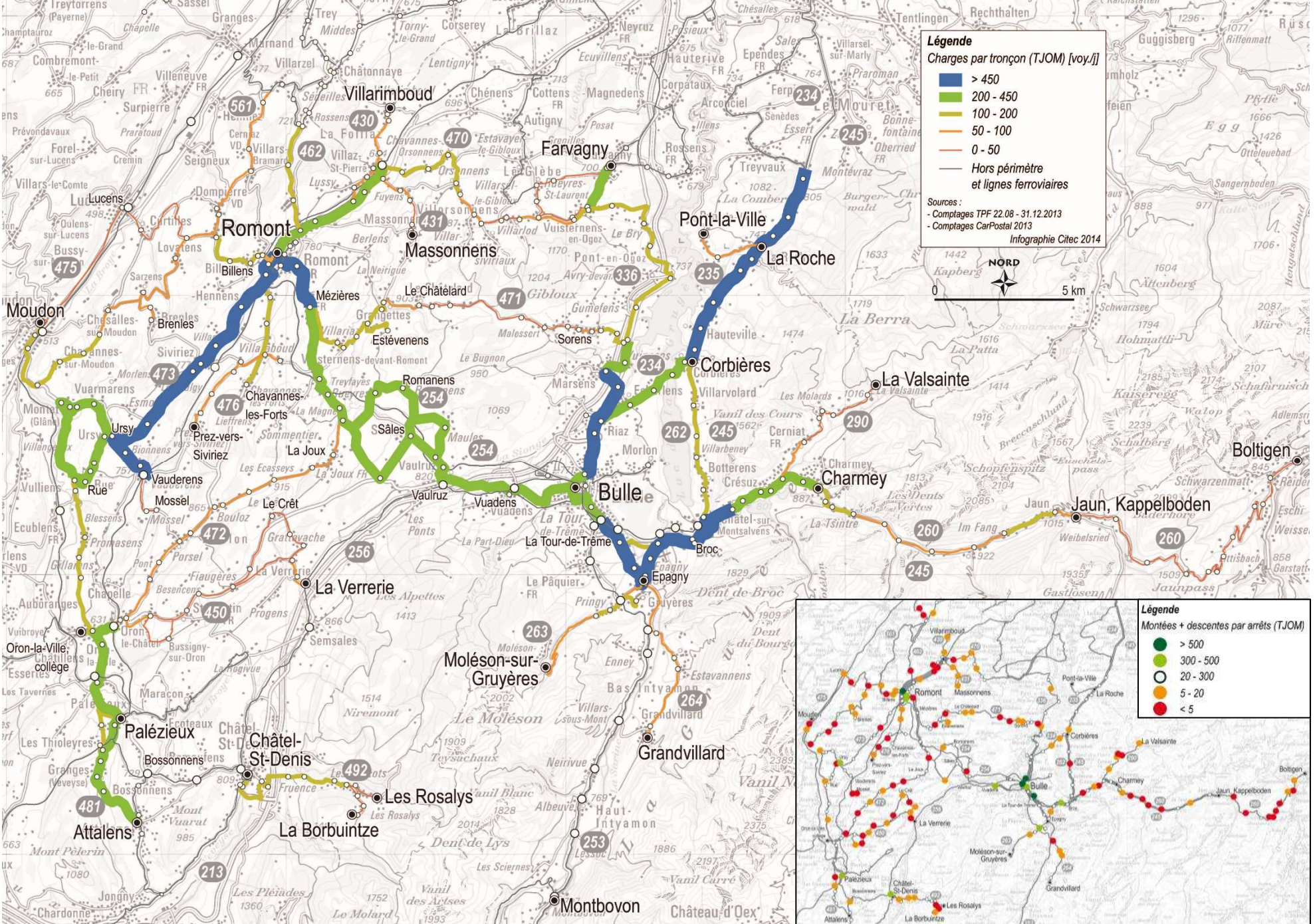
Représentation: Temps de parcours

de \ à	Lausanne	Châtel-St-Denis	Moudon	Ursy, Village	Romont	Villaz-St-Pierre	Fribourg	Le Châtelard	Mézières FR, village	Attalens, village	Les Paccots	St-Martin FR, village	Bulle	Molésou-sur-Gruyères	Broc-Village, gare	Jaun	Corbières
Lausanne												42					102
Châtel-St-Denis				46										57			63
Moudon				55	36	59			31	72		58	62		81		86
Ursy, Village	47	35	70			39		51				33	47	87	61	94	66
Romont			65	15							62						
Villaz-St-Pierre			89	44							79						
Fribourg			53	38													
Le Châtelard	92	42	71	83	23	42	42		12	74	94	65		69			38
Mézières FR, village	52	58	61			32	29	16			56			78			
Attalens, village	40	23	85	33	32	55	55	100	54								
Les Paccots	56	15	79	74	85	108	108	126	80	44							97
St-Martin FR, village	72		86	48	41	58	86	98	54	54	46			56		91	
Bulle	60		86	52				25	25	53	42						
Molésou-sur-Gruyères	101	79	140	125	60	81	78	94	107	107	96	84	31				
Broc-Village, gare	81	59	120	66	33	52	52		50	87	76	64		46			14
Jaun	108	86	147	132	67	88	85		86	114	103	137	43	112			35
Corbières	107	85	94	71	38	57	39	70	55	113	102	90	19	51	48	119	

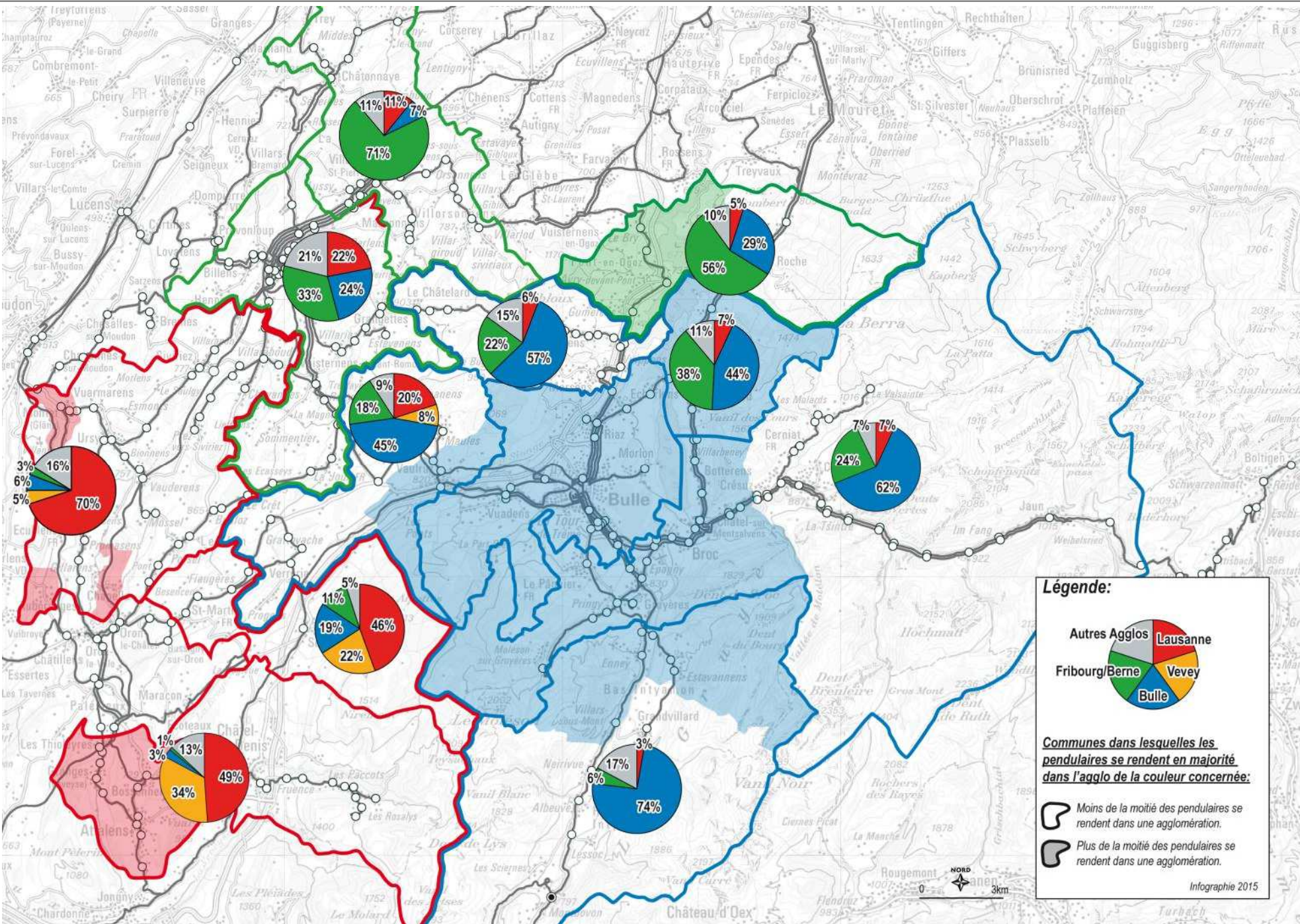
- Non pertinent
- Temps HPM et HPS
- Temps HPS
- Temps HPM
- Moyenne qualitative
- Meilleur temps

Remarque : Les temps de la demi matrice inférieure considèrent les lignes comme l'origine et les colonnes comme destination, alors que les temps de la demi matrice supérieure considèrent les colonnes comme l'origine

Représentation: Charges par tronçon (TJOM)



Représentation: Demande (tout mode) vers les agglomérations



Méthodes d'acquisition des données

« Ce qui ne peut se mesurer ne peut être amélioré
(*If you can't measure it, you can't improve it.*) »

— Peter Drucker

Les différentes technologies de comptages de trafic

2 types de technologies

- Capteurs intrusifs : installation dans ou sur la voirie
- Capteurs non intrusifs : installation en bord de voirie

Des matériels différents

- Relevés des charges de trafic
- Relevés des vitesses
- Relevés des origines et destinations...

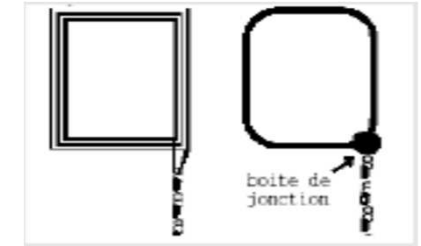
Mises en œuvre

- Dépendent des besoins en recueil de données
- Dépendent des caractéristiques physiques du site à enquêter
- Dépendent du coût du matériel

Technologies de comptages de trafic: **Capteurs intrusifs**

Capteurs à boucles inductives encastrées

- Technologie : fil placé 7 cm en dessous de l'enrobé
- Fonctionnement : Détection des véhicules par perturbations du champ magnétique émis par la boucle
- Mesures : Débit des véhicules, vitesses, taux d'occupation, temps et distances inter-véhiculaires



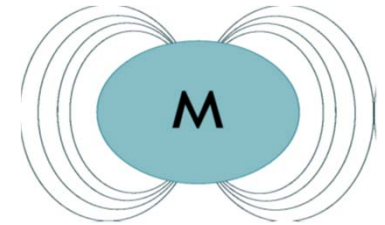
Capteurs à boucles inductives collées

- Technologie : identique à la précédente mais le matériel subit une usure plus rapide

Technologies de comptages de trafic: **Capteurs intrusifs**

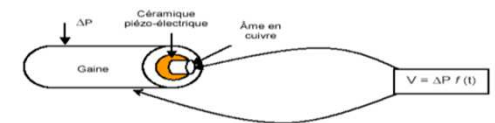
Capteurs magnétomètres

- Technologie : petites selfs réalisées sur des circuits imprimés de très petite taille, disposés dans la chaussée après carottage
- Fonctionnement : Détection des véhicules par perturbations du champ magnétique émis par la boucle
- Mesures : Débit des véhicules, vitesses, longueurs, silhouettes, taux d'occupation, temps et distances inter-véhiculaires



Capteurs à effet piézo-électrique

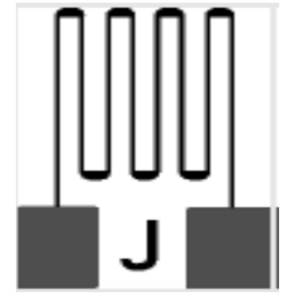
- Fonctionnement : En étant soumis à une contrainte mécanique, il génère une tension sous l'effet d'un déplacement de charges électriques
- Mesures : poids à l'essieu, poids total, silhouettes, débit, vitesse distance inter-essieux



Technologies de comptages de trafic: **Capteurs intrusifs**

Capteurs à jauge de contrainte

- Technologie : Variation de la résistivité électrique lorsqu'une pression est exercée
- Mesures : Débits, vitesses, longueurs et formes de véhicules, temps de présence, taux d'occupation, temps et distance inter-véhiculaire, distance capteur/véhicule



Capteurs à fibres optiques

- Technologie : dispositif permettant de recueillir des informations représentatives de grandeurs mesurées sans autre apport d'énergie que celui des phénomènes observés et/ou des ondes lumineuses circulant dans la (ou les) fibre(s)
- Fonctionnement : mesure par contrainte à chaque passage de véhicule. La récupération de l'information s'effectue soit par transmission, soit par réflexion
- Mesures : Débits, vitesses, longueurs et formes de véhicules, temps de présence, taux d'occupation, temps et distance inter-véhiculaire, distance capteur/véhicule



Technologies de comptages de trafic: **Capteurs (faiblement) intrusifs**

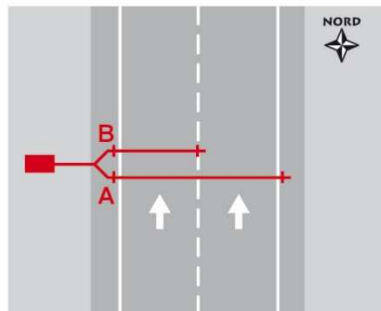
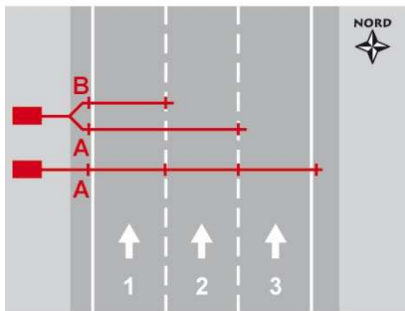
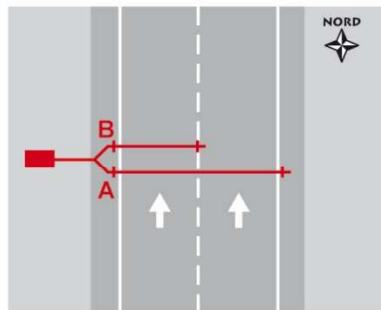
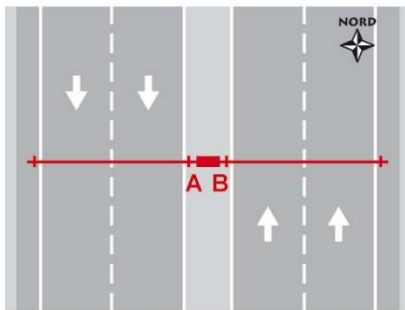
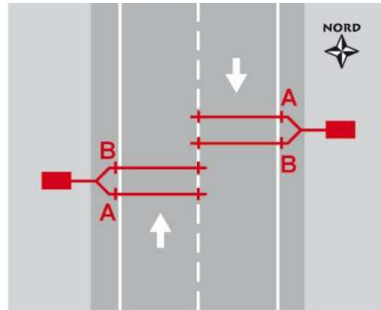
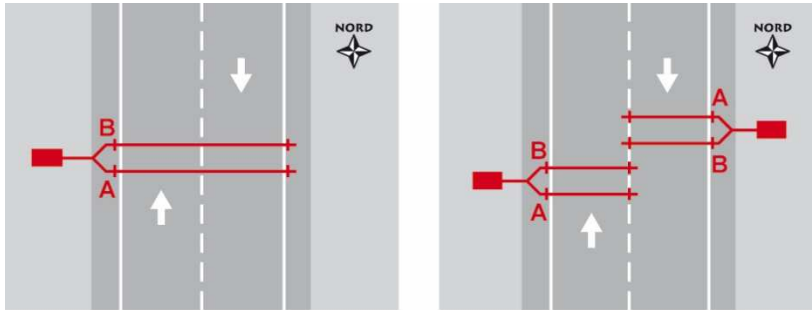
Capteurs à tubes pneumatiques

- Technologie : Détection des variations de pression d'air dans les tubes, provoqués par le passage des essieux des véhicules
- Fonctionnement : Les variations de pression sont transmises vers des vannes ou détecteurs qui les transforment en signaux électriques qui seront filtrés, datés et comptabilisés
- Mesures : Débit des véhicules, vitesses, classification des véhicules



Comptages: En section par tubes ou boucles

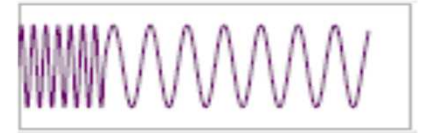
- Mise en place rapide sur voirie
- Risque d'arrachage des tubes pneumatiques
- Mesures : Débits, vitesses et classification des véhicules



Technologies de comptages de trafic: **Capteurs NON intrusifs**

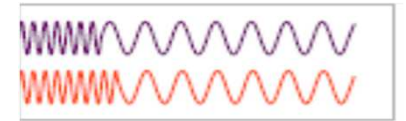
Capteurs hyperfréquence utilisant l'effet Doppler

- Technologie : train d'ondes électromagnétiques pulsées émis en direction d'un véhicule. Au contact du véhicule, l'onde est réfléchiée et renvoyée modifiée vers le capteur
- Mesures : Débit, vitesse, débit classifiés (VL/PL)



Capteurs hyperfréquence utilisant 2 antennes

- Technologie : installé généralement en hauteur, face ou perpendiculairement aux voies de circulation. Un train d'ondes électromagnétiques pulsées est émis par deux antennes radar. Au contact du véhicule, l'onde est réfléchiée et renvoyée modifiée vers le capteur
- Mesures : données équivalentes à celles qui sont fournies par des stations à boucles électromagnétiques



Technologies de comptages de trafic: **Capteurs NON intrusifs**

Capteurs laser

- Mesures : Débits, vitesses, longueurs et formes de véhicules, temps de présence, taux d'occupation, temps et distance inter-véhiculaire, distance capteur/véhicule

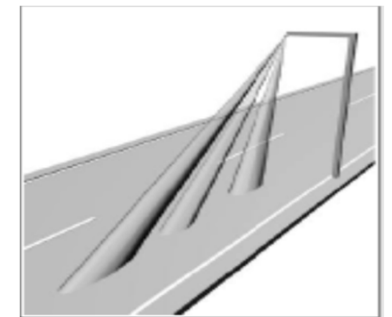


Capteurs à infra-rouge actifs et passifs

Mesures :

Pour les capteurs IR passifs : débits, vitesses.

Pour les capteurs IR actifs : débits, vitesses, longueurs, temps de présence, taux d'occupation, temps et distance inter-véhiculaire, distance capteur/véhicule.



Technologies de comptages de trafic: **Capteurs NON intrusifs**

Capteurs vidéo visibles et à infra-rouge

- Technologie : paramétrage sur l'image de la route de boucles virtuelles dont le comportement sera analogue aux boucles inductives (électromagnétiques) standards, à ceci près que ce n'est plus la masse métallique qui est détectée mais la présence de groupes de pixels
- Mesures : débit, classification, taux d'occupation, temps inter-véhiculaire, distance inter-véhiculaire et vitesse, par sens et par voie.
- Possibilité également de mesurer les longueurs de queues, de repérer des trajectoires particulières (mouvements tournants) et de détecter les piétons



Technologies de comptages de trafic: **Capteurs NON intrusifs**

Capteurs acoustiques passifs

- Technologie : détectent les bruits de roulement et / ou de moteur émis par les véhicules. Ces capteurs sont donc peu directifs, et ne peuvent servir que pour détecter la présence ou l'absence de véhicules sur une certaine zone de la chaussée
- Mesures : Débit tous véhicules, débits VL/PL selon les matériels et vitesse



Capteurs acoustiques actifs (à Ultrasons)

- Technologie : capteurs constitués de couples émetteurs / récepteurs à ultrasons (US), placés au-dessus de la chaussée. L'émetteur envoie périodiquement un signal impulsif en direction de la chaussée. Ce signal est renvoyé par sa réflexion sur les véhicules passant ou sa réflexion sur la chaussée
- Mesures : Débits, vitesses, longueurs et formes de véhicules, temps de présence, taux d'occupation, temps et distance inter-véhiculaire, distance capteur/véhicule



Comptages: Directionnel par caméra ou par enquêteurs

Comptage manuel par enquêteurs

- Comptages à vue
- Relevés de plaques minéralogiques si défaut de visibilité

Comptages par caméra vidéo et dépouillement informatique



Utilisation d'un drone dans certaines configurations

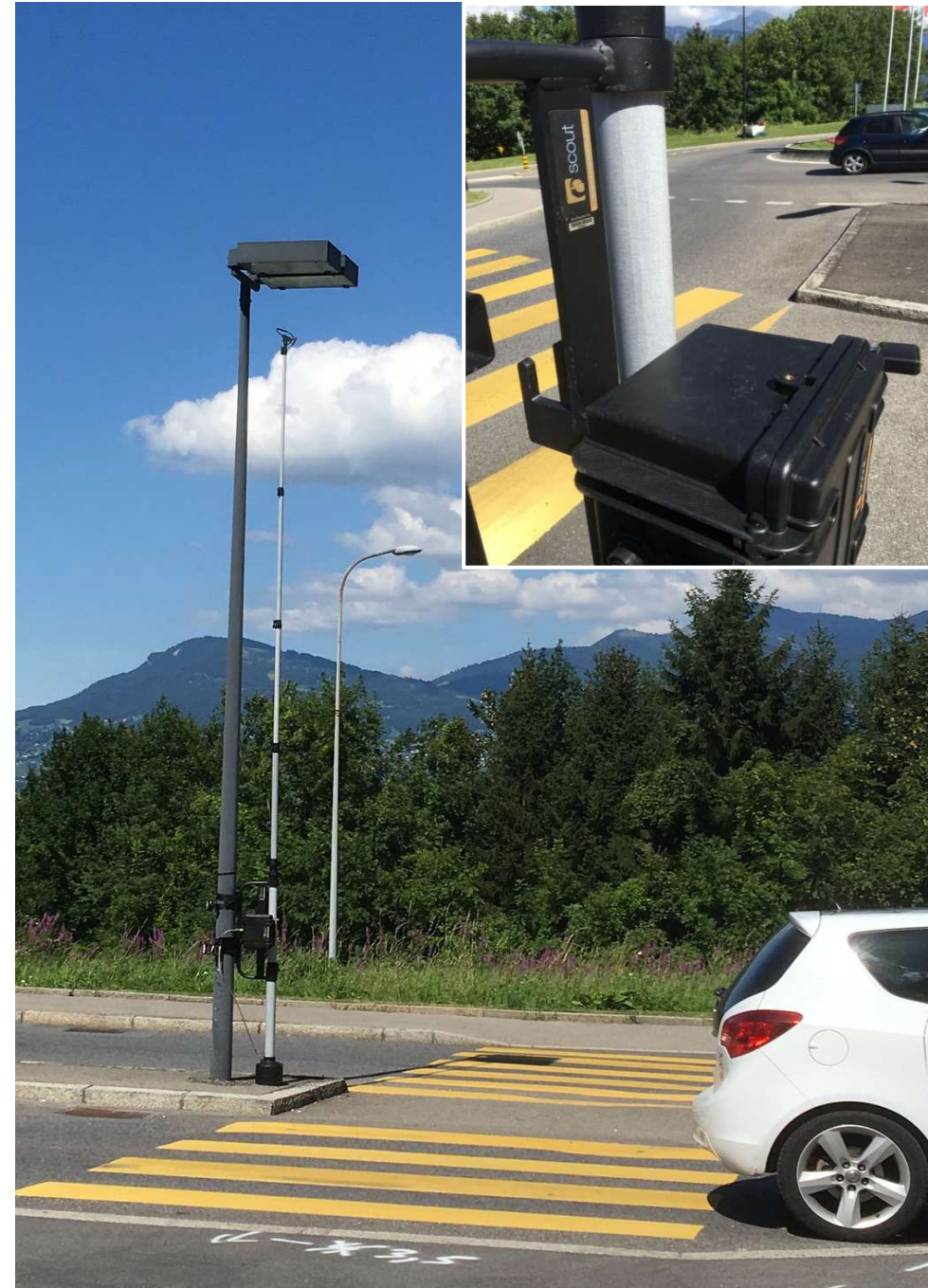
- Carrefours très larges (> 45 mètres)
- Défaut de visibilité



Comptages O/D: Par capteurs ou enquêtes

Autres méthodes (comptages origine-destination)

- Relevés de plaques minéralogiques
 - Manuellement
 - Par caméra
- Détection des appareils connectés (smartphones...)
- Interviews des usagers
 - Pendant la phase de rouge d'un feu tricolore
 - Sur une zone aménagée en bord de voirie avec protection policière
 - Questionnaire rapide
 - D'où venez-vous ?
 - Où allez-vous ?
 - Quelle est la fréquence de votre trajet ?
 - Quel est le motif de votre déplacement ?
 - Nombre de personnes dans le véhicule ?



Quelques fournisseurs

Métrocount 5600: Comptages pneumatiques

Comptages par tubes pneumatiques

- Mise en place rapide sur voirie
- Risque d'arrachage des tubes pneumatiques
- Mesures : Débits, vitesses et classification des véhicules



MAGSYS – Travaux +: **Bluetooth + Caméra**

Solution sur mesure de gestion des zones de chantier

Relevés de données, transmission en temps réel vers plateformes pour diffusion Web, appli Smartphone ou analyse

Matériels permettant plusieurs prestations en les combinant :

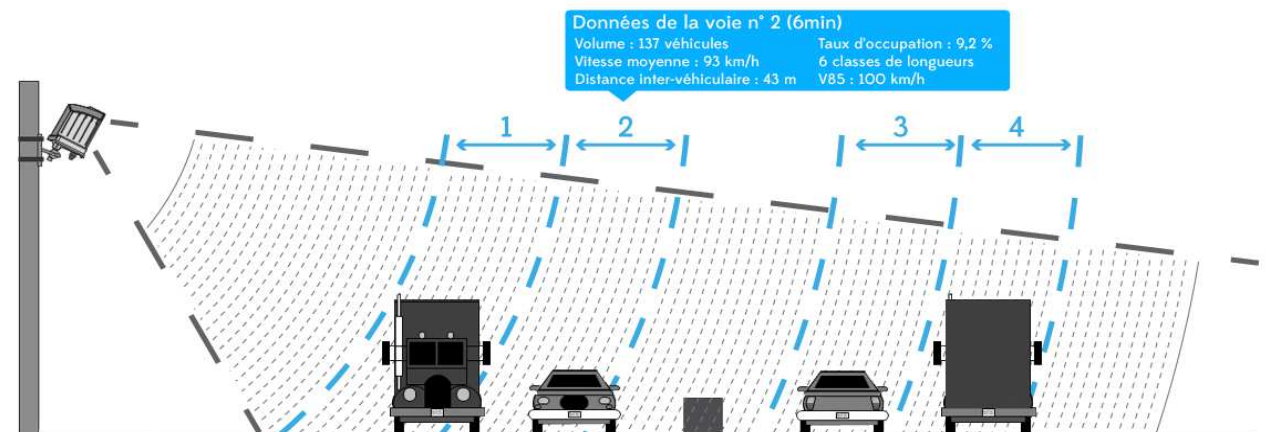
- Vidéosurveillance
- Comptages (débits, vitesses, classification...)
- Temps de parcours (par capteurs bluetooth)



MAGSYS – SX 300: Bluetooth + Radar

Solution par radar multivoies

- Comptages jusqu'à 12 voies simultanément
- Idéal autoroutes, boulevards urbains larges...
- Pas de mise en place sur chaussée → Sécurité
- Installation rapide
- Connection bluetooth
- Contrainte de devoir installer le radar entre 5 et 5,5 mètres de haut → besoin d'une nacelle



MAGSYS: Bluetooth

Solution pour mesure des temps de parcours et les études OD

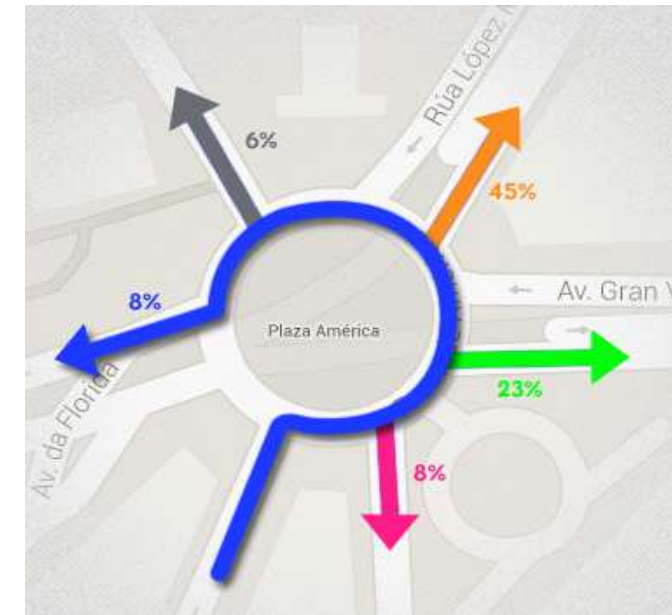
Relevés de données par détections des équipements bluetooth embarqués (tél, GPS, diag moteur...)

25% des véhicules détectés

Technologie concurrente aux caméras de type Miovision pour les OD

Coût inférieur en principe mais pas de relevé exhaustif des charges

→ Comptages complémentaires nécessaires



MioVision: Camera

Solution pour mesures comptages

en section, comptages directionnels, comptages de véhicules, de vélos, de piétons, lecture ds plaques d'immatriculation pour enquêtes origines-destination



Solution par radar

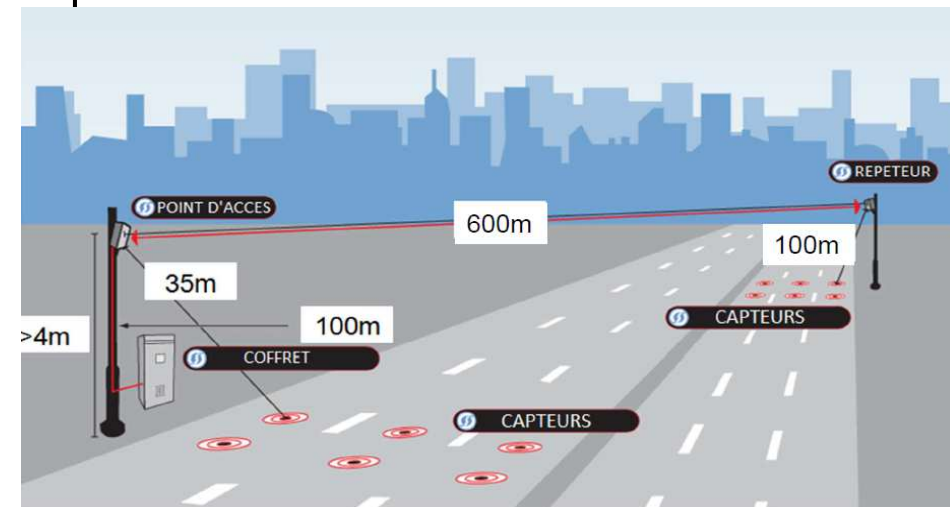
- Comptages 1 voie ou 2 voie en sens opposés
- Débits (VL/PL) et vitesses
- Pas de mise en place sur chaussée → Sécurité
- Installation rapide
- Connection bluetooth



SENSYS – Networks: **Magnétomètre**

Plateforme de détection (Solution alternative aux boucles inductives)

- Magnétomètres insérés dans la chaussée pas simple carottage (10 x 6cm)
- Mesures en fonction du nombre d'éléments installés :
 - 1 capteur / voie : débit
 - 2 capteurs / voie : débit + classification + vitesses
 - 5 capteurs posés en E/S d'un tronçon : Tps de parcours
- Autonomie en énergie 10 ans
- Coût de maintenance très réduits par rapport aux boucles
- Solution plus chère en investissement mais nettement plus rentable ensuite



IEM- PrestoSense: Magnétomètre + Ultrasonic

Plateforme de détection pour le stationnement

- Magnétomètres et ultrasonic posé ou inséré dans la chaussée par simple carottage (Diam210 x H25 mm avec ring et Diam124 x H25 mm sans ring)
- Une mesure toute les 2 secondes
- Compatible réseau LoRaWANTM (Low Power Wide Area Network) pour smart city
- Autonomie en énergie 8 ans
- Coût de maintenance très réduits par rapport aux boucles
- Solution plus chère en investissement mais nettement plus rentable ensuite





A unique blend of interdisciplinary expertise



Data Collection with Drones



Video Analytics



Mobility Analytics

Trafic déterminant

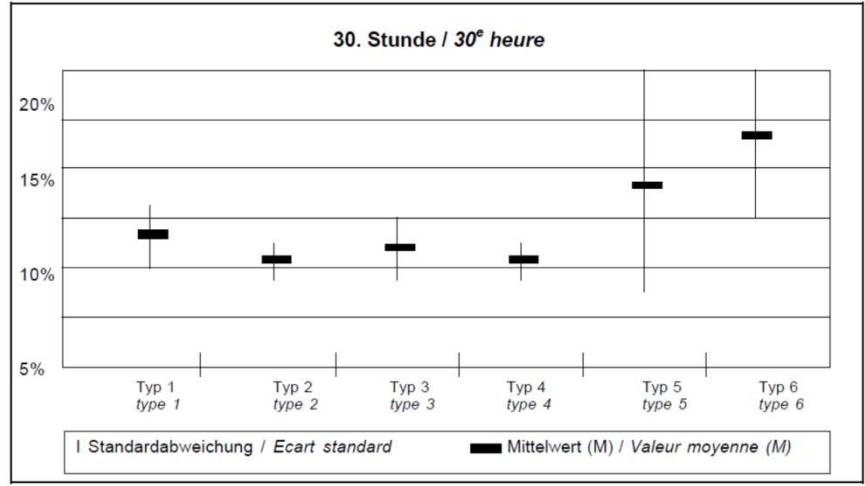
Demande : **Trafic déterminant**

Heure de pointe (HPM, HPS)

- Valeurs extrêmes pour le dimensionnement de la capacité d'une infrastructure

THP Trafic en heure de pointe selon les deux sens de circulation HPS en général supérieure à HPM

TD Trafic déterminant par sens de circulation



30^{ème} heure

- Courbe des débits classés par ordre décroissant pendant une année
- Correspond au trafic de pointe hors circonstances spéciales (ex : départ en vacances)

30^e heure

Types de courbe de variation		Valeur moyenne (M) en % du TJM
type 1	trafic à longue distance	11,5 %
type 2	trafic à longue distance avec pendulaire	10,6 %
type 3	trafic pendulaire	11,0 %
type 4	trafic local	10,7 %
type 5	trafic régional	14,4 %
type 6	trafic de loisirs	16,4 %

Détermination du trafic déterminant

$$TD = TJM \cdot C_1 \cdot C_2$$

Avec :

- C_1 , le rapport entre la 30^{ème} heure et le TJM caractérisant l'intensité de l'heure de pointe
 - En localité 8-10%
 - Hors localité 10-15%
 - Trafic de loisir 15-20%

- C_2 , la répartition directionnelle du trafic lors de l'heure de pointe, Varie en général entre 50 et 70%

Demande : Croissance du trafic

- Satisfaire les besoins actuels et futurs (durée de vie \approx 10 à 20 ans)
- Croissance liée au développement de la motorisation et à l'évolution des comportements sociétaux mais limitée par la capacité du réseau

- Taux d'accroissement en Suisse :

- 0 à 0.5 %/an dans les centres urbains
- 2 %/an sur les routes hors localité
- 3 %/an sur les autoroutes

⚠ Phénomène de l'attractivité \rightarrow +10 %/an

- Trafic à l'horizon de planification

$$T_f = T_1(1 + t_c)^d \quad (\text{Formule simplifiée})$$

Avec :

- T_1 , le trafic global au début de l'analyse
- t_c , le taux de croissance annuel du trafic durant la période d'analyse
- d , la durée de la période d'analyse

4. L'offre: La voirie

Niveau de service

Capacité

Offre : Définition

L'**offre** correspond à la **capacité** des infrastructures de transports et des fournisseurs de prestations à transporter d'un lieu à un autre un certain nombre de personnes en garantissant un **niveau de service** donné.

Influencée par :

- **Forme** : dimensions et aménagements
- **Fonction** : classification

Offre : Niveau de service

- Caractérise l'écoulement et la densité de trafic
- Traduit le degré de satisfaction des usagers
- 6 niveaux de service ou LOS (Level of Service) :
 - LOS A : écoulement libre, vitesse libre
 - LOS B : légère gêne, état de circulation stable
 - LOS C : contraintes dans la liberté de manœuvre, état de circulation stable
 - LOS D : premières fluctuations de débit, proche de l'écoulement instable
 - LOS E : capacité atteinte, forte instabilité
 - LOS F : capacité dépassée, embouteillages

Offre : Capacité

- Débit maximal de véhicules pouvant s'écouler à travers une section de route pendant une heure
- Limite des possibilités d'écoulement

- Capacité en conditions idéales :
 - Chaussée horizontale (déclivité $< 2\%$)
 - Faible sinuosité en plan
 - Largeur minimale des voies de circulation de 3.65 m
 - Dégagement latéraux minimum de 1.80 m
 - Trafic homogène de VL avec moins de 5 % de PL
 - Trafic pendulaire
 - Absence d'accès latéraux et de carrefours

Offre : Capacité réelle

- Tient compte des conditions réelles grâce à des facteurs correctifs :
 - Largeur de voies -> +la voie est étroite + la capacité se réduit, dès 3.65m=100%
 - Distribution du trafic-> + c'est hétérogène + la capacité se réduit, dès 50/50=100%
 - Distancement des obstacles latéraux -> +l'obstacle est proche + la capacité se réduit, dès 1.8m=100%
 - Rampes et pentes (longueur et déclivité) et Proportion de poids lourds
 - > +c'est en pente + la capacité se réduit, + il y a de PL la capacité se réduit
 - Possibilité de dépassement
 - Vitesse de circulation
 - ...

Offre : Débit de circulation

- Le débit de circulation est donné pour un niveau de service i :

$$Q_i = N \cdot C \cdot R_i \cdot \prod f_i$$

Avec :

- N , le nombre de voie par direction
- C , la capacité pour une voie selon le type de route (entre 1'400 et 2'100 vhc/h/voie)
- R_i , le ratio limite du niveau de service i donné
- f_i , les facteurs correctifs (liés à la largeur des voies de circulation, aux obstacles latéraux, à la distribution du trafic, aux déclivités)

Capacité routière

Notion de capacité routière: **Exemple voie express**



Voies express, autoroute, théoriquement 1'800 vhc/h/voie

Notion de capacité routière: **Exemple autoroute**



Autoroute contournement de Lausanne, jusqu'à 2'200 vhc/h/voie

Notion de capacité routière: **Exemple voie urbaine**



Une voie urbaine : 1'000-1'200 vhc/h/voie, mais souvent moins

Notion de capacité routière: **Exemple voie urbaine polyvalente**



Voie urbaine polyvalente, environ 800 vhc/h /voie

Notion de capacité routière: **Exemple rue ancienne**

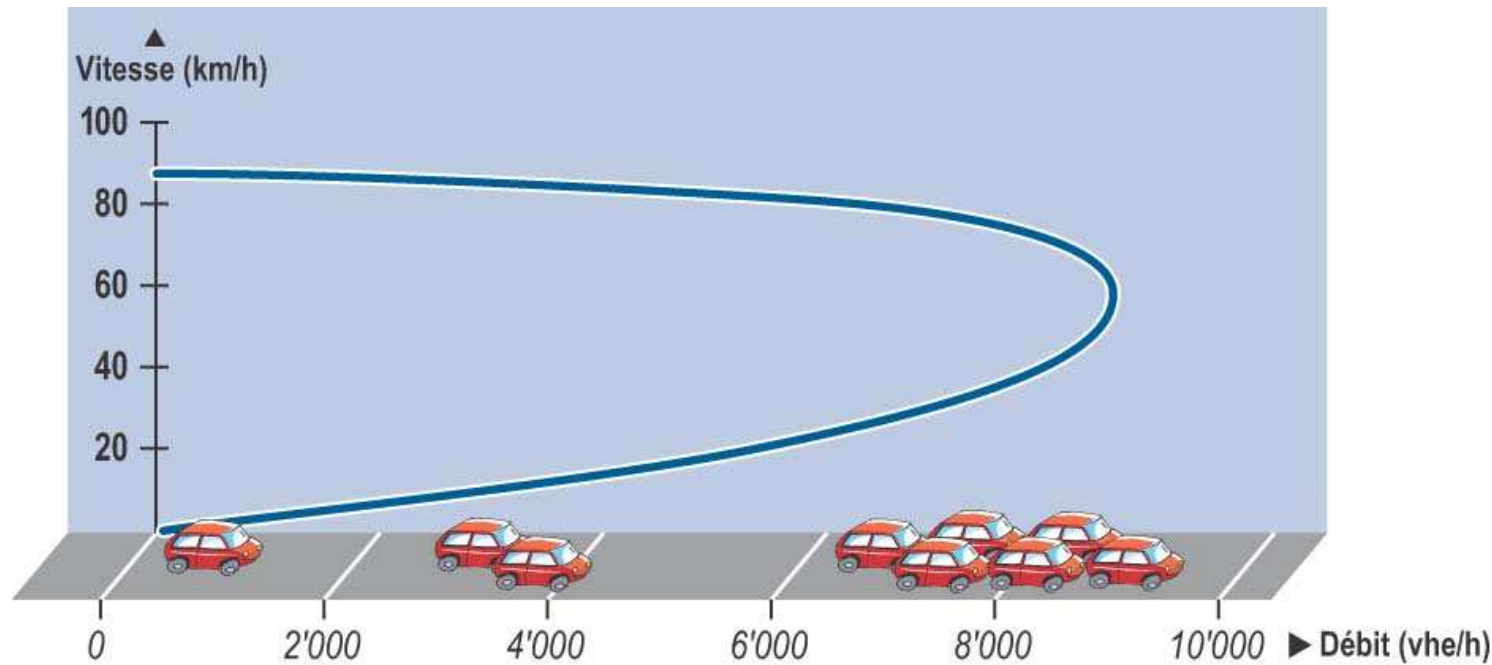


Noyau urbain, rue ancienne : 300-800 vhc/h/voie selon les commerces

Notion de capacité routière: Lien avec la vitesse

Les capacités routières

- Capacité théorique et notion de temps intervéhiculaire
- Capacité versus vitesse ou le mythe de la vitesse



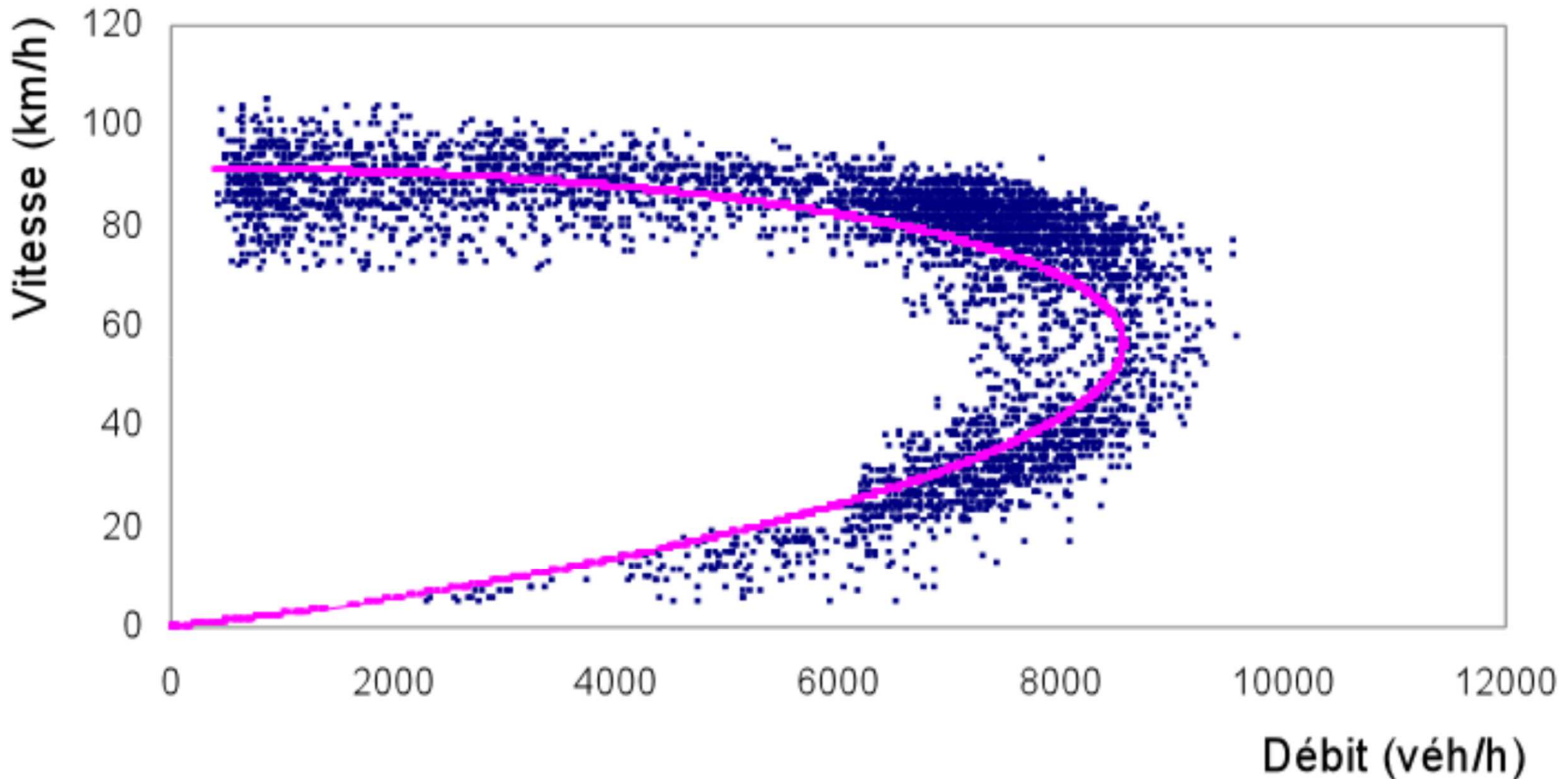
Vitesse et capacité d'une route de vont pas de pair. La capacité la plus élevée d'une route de type autoroute est observée à une vitesse de 60km/h environ. Ceci est dû au fait que les automobilistes arrivent à conduire avec un intervalle de temps plus petit par rapport au véhicule devant.

En milieu urbain (traversée piétonnes, manœuvres, carrefours) l'optimum de vitesse est inférieur à 60km/h, ce qui est transposable à l'autoroute urbaine.

Notion de capacité routière: Lien avec la vitesse

Le débit maximum de l'autoroute périurbaine est obtenu à 60km/h

A3-A86, 5 voies vers Paris



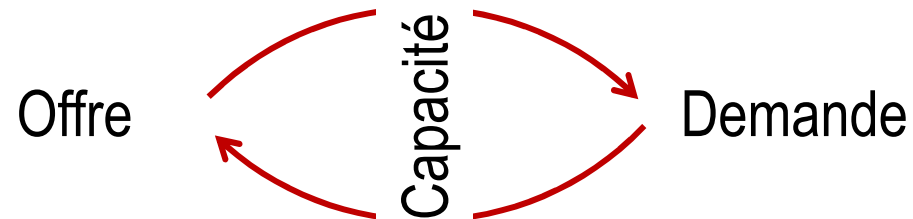
<https://youtu.be/134eU0Ad8jI>

5. Bilan de capacité

Bilan de capacité

L'offre et la demande sont reliés par la **capacité** de l'élément étudié :

- Adaptation de l'offre pour satisfaire la demande
- Conditionnement de la demande en fonction de l'offre



Procédure selon la demande

- Demande connue
- Détermination des dimensions de l'infrastructure avec un niveau de service donné
- Utilisation pour la réalisation d'une nouvelle construction ou pour un réaménagement

Procédure selon l'offre

- Offre connue
- Détermination du volume de circulation possible avec un niveau de service donné
- Utilisation pour les infrastructures existantes

Analyse de performances

- Offre et demande connues
- Détermination du niveau de service
- Utilisation pour les infrastructures existantes

Bilan de capacité : **Procédure selon la demande**

1. Détermination de la **demande**
 - **Trafic déterminant TD** pour la planification
2. Choix du niveau de service à assurer
3. Détermination de la nature du trafic et des dimensions de l'infrastructure
 - Nombreuses hypothèses
4. Détermination de l'**offre**
 - **Capacité réelle C_r**
 - **Débit de circulation correspondant Q_C ou Q_D**
5. Comparaison de l'offre et de la demande
 - $TD < C_r$: le trafic déterminant doit toujours être inférieur à la capacité réelle
 - $TD < Q_C$ ou Q_D : le trafic déterminant ne doit pas être supérieur à Q_C ou Q_D pour éviter une gêne excessive du trafic
 - $TD \ll Q_C$ ou Q_D : vérifier le non-surdimensionnement

Bilan de capacité : **Procédure selon l'offre**

1. Choix du niveau de service à assurer
2. Détermination de la nature du trafic et des dimensions de l'infrastructure
 - Aucune hypothèse
3. Détermination de l'offre
 - Capacité réelle C_r
 - Débit de circulation correspondant Q_C ou Q_D
4. Détermination du débit possible
 - Débit possible pour un niveau de service donné admis équivalent au débit de circulation correspondant : $TD = Q_C$ ou Q_D
 - Débit maximal équivalent à la capacité réelle C_r

Bilan de capacité : **Analyse des performances**

1. Détermination de la demande

→ Trafic déterminant TD pour la planification

2. Détermination de l'offre

→ Capacité réelle C_r

→ Débit de circulation correspondant Q_i pour tous les niveaux de service

3. Analyse des performances

→ Comparaison du TD aux Q_i pour déterminer le niveau de service i

$$(Q_i = N \cdot C \cdot R_i \cdot \prod f_i)$$

Avec :

- N , le nombre de voie par direction
- C , la capacité pour une voie selon le type de route (entre 1'400 et 2'100 vhc/h/voie)
- R_i , le ratio limite du niveau de service i donné
- f_i , les facteurs correctifs (liés à la largeur des voies de circulation, aux obstacles latéraux, à la distribution du trafic, aux déclivités)

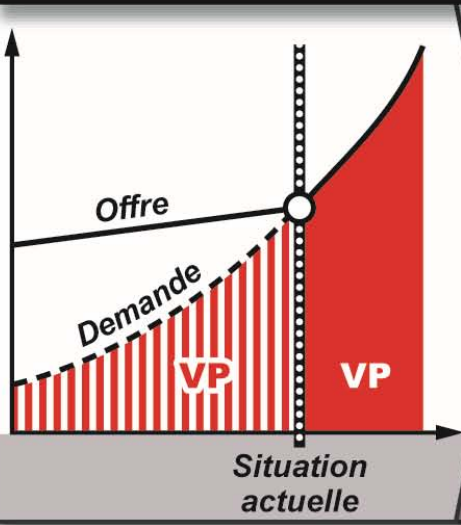
6. L'offre: Les Transports publics

Les stations

Capacité

L'offre et la demande : Une question d'équilibre

L'OFFRE DU RÉSEAU ROUTIER SUIV LA DEMANDE

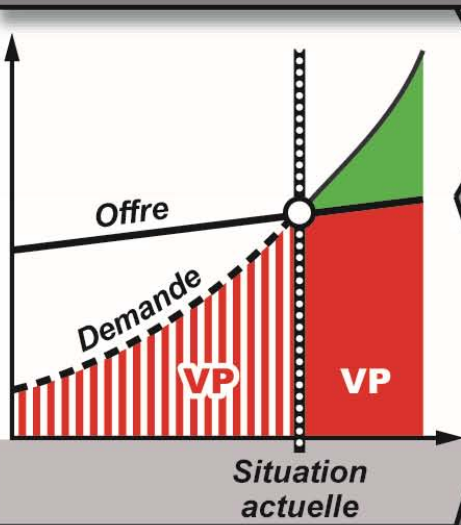


Les infrastructures routières doivent être développées

Cette mesure a des effets indésirables sur les autres modes (TC, piétons, vélos) et sur les riverains

L'offre suit la demande et favorise le mode dominant

LA DEMANDE EST MAÎTRISÉE PAR DES MESURES DE GESTION MULTIMODALE



Il faut promouvoir d'autres modes que la voiture pour satisfaire cette demande

La maîtrise du développement des infrastructures routières est assurée

Une intégration des préoccupations de chacun

La demande est gérée et reportée sur d'autres modes

Fonte : CITEC

Stations : Localisation

Souhaits différents selon le point de vue :

■ Pour l'utilisateur :

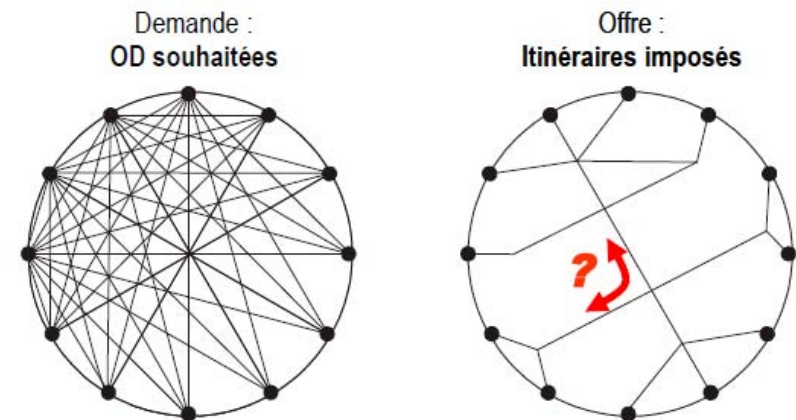
- Arrêt le plus proche possible de son origine ou de sa destination (< 400m)
- Longueur d'inter-station minimal (améliorer la desserte des zones traversées et minimiser les trajets terminaux)

■ Pour l'exploitant :

- Temps en station minimal
- Manœuvres d'arrivée et de départ réalisées avec le plus de sécurité et de facilité pour le conducteur

■ Pour l'utilisateur et l'exploitant :

- Longueur d'inter-station maximale (augmenter la vitesse commerciale et réduire le temps des usagers à bord du véhicule)



Stations : Localisation

Longueur d'inter-station dans les villes européennes :

- 350 à 450 m en moyenne en zone urbaine
- 250 m au minimum
- 750 m au maximum

Après optimisation de la longueur d'inter-station, **la position des arrêts est choisie pour assurer la meilleure desserte des quartiers :**

- Proche des lieux d'origine et de destination (habitat ou activités)
- En des lieux de convergence des réseaux piétonniers

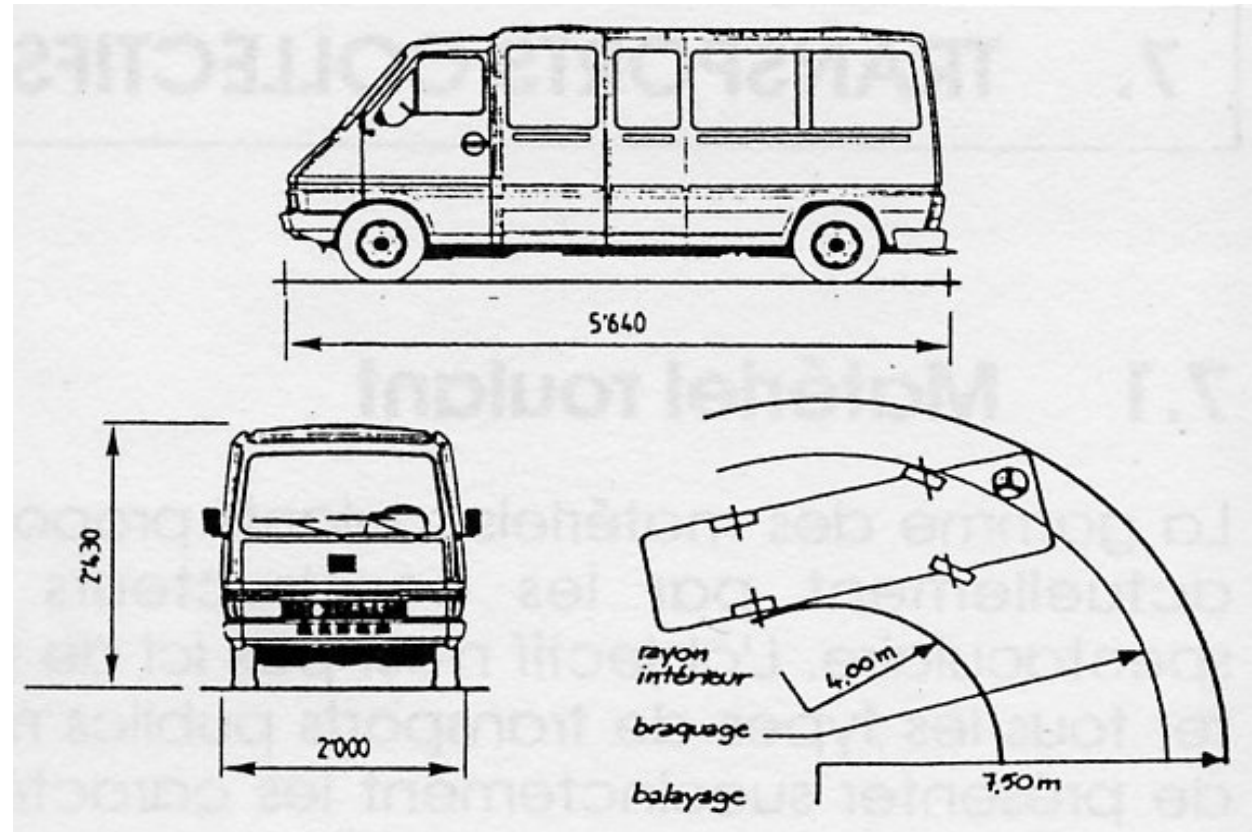
Le matériel roulant

Une grande variété de véhicules sur le marché allant du mini au méga bus en passant par les tram.

L'offre s'adapte aux conditions locales telles que la géométrie routière, la demande, le parc de l'exploitant, etc

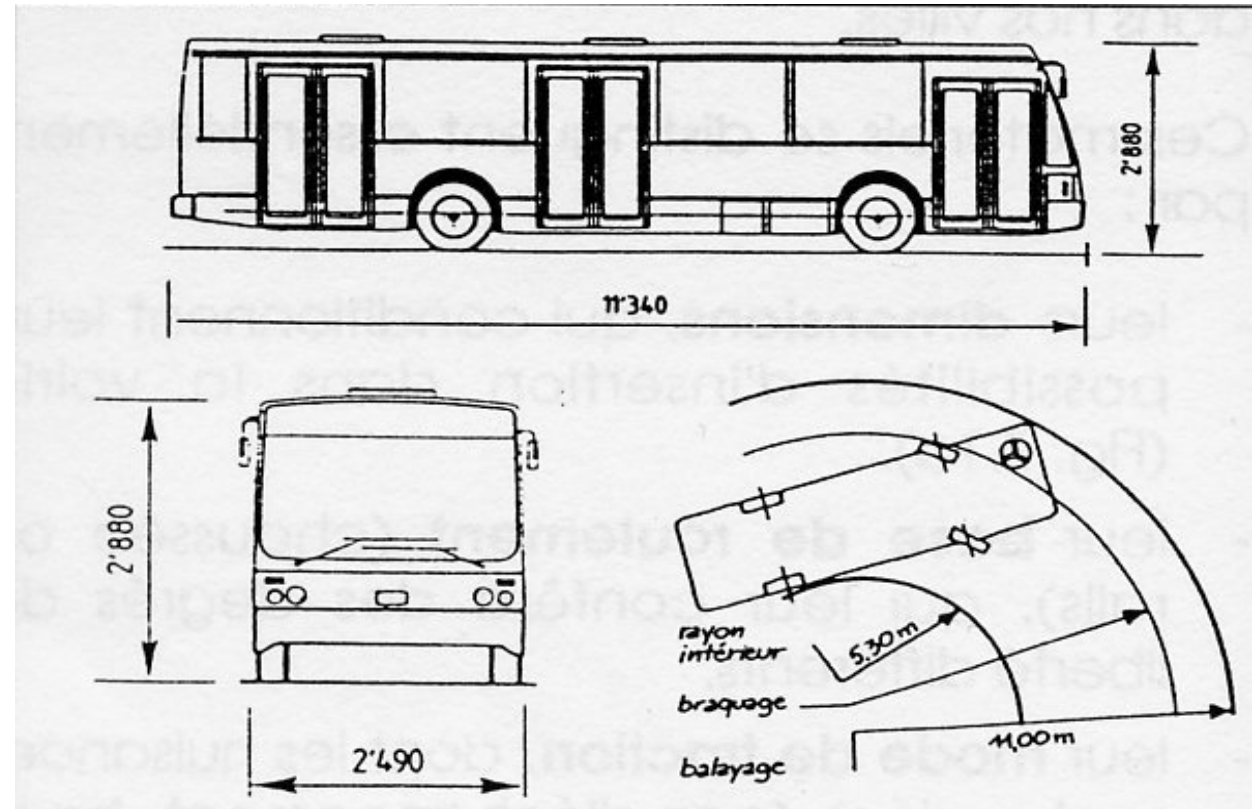
L'offre : Les véhicules: Minibus

- Faible capacité : 15 à **25 places**
- Adapté aux cas de faibles demandes
- (ex TAD)



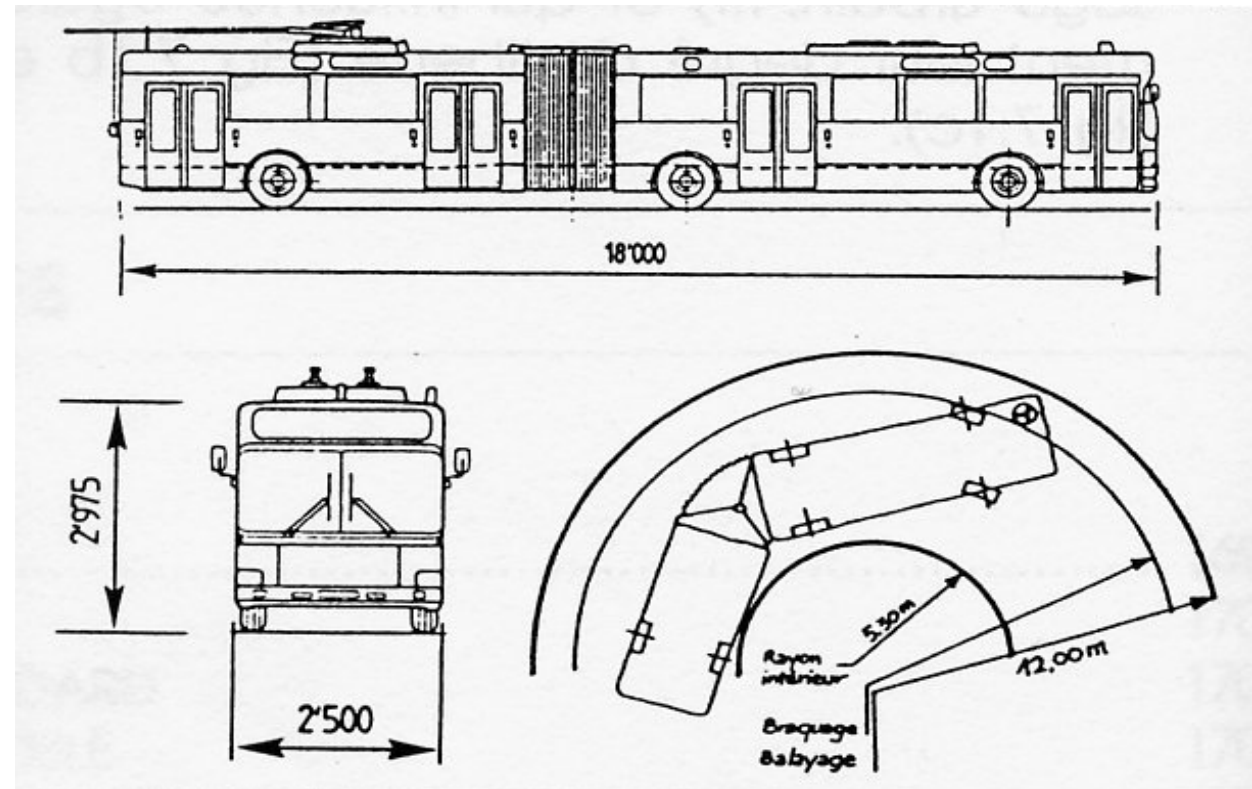
L'offre : Les véhicules: Bus et Trolley standard

- Capacité de 60 à **70 places**
- Moyen le plus répandu dans les réseaux urbains



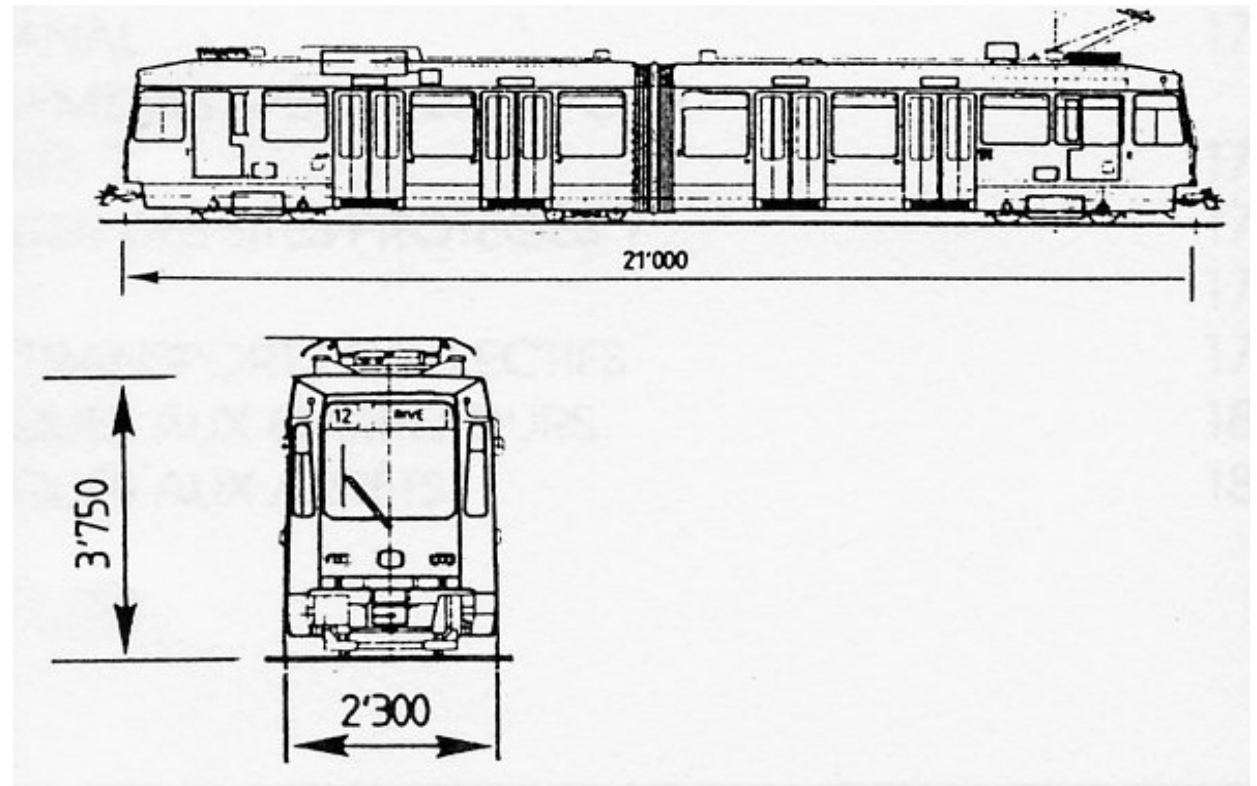
L'offre : Les véhicules: Bus et trolley articulé

- Capacité plus élevée : **110 places** environ
- Il permet d'augmenter l'offre sur une ligne sans utiliser des véhicules et chauffeurs supplémentaires.
- Son utilisation est très répandue dans la plupart des milieux urbains.



L'offre : Les véhicules: Les tramway

- Grande capacité : 160 à **230 places**
- Performances élevées
- Aptitude à circuler sur la voirie traditionnelle
- Conçu pour satisfaire les besoins des grands axes de transports urbains, il constitue généralement l'ossature des réseaux d'agglomération.



Exemple : Tram de Genève



Source: CITEC

Calcul de l'offre

Calcul de l'offre : **Données de base**

Fonctionnement d'une ligne :

- Ajouts dans le circuit des véhicules aux heures prévues, soit en tête de ligne, soit en des stations intermédiaires
- Navette entre deux têtes de lignes
- Temps de battements aux extrémités pour absorber les retards, stabiliser l'horaire et accorder une pause aux conducteurs

Fréquence de circulation des TC selon :

- Le nombre de véhicules en service simultanément sur la ligne
- La longueur de la ligne
- La vitesse commerciale, elle-même fonction des conditions de circulation, du nombre d'arrêts, de leur durée,...
- Le temps de battement

Calcul de l'offre : Calcul de la fréquence

- Temps de parcours (*min*)

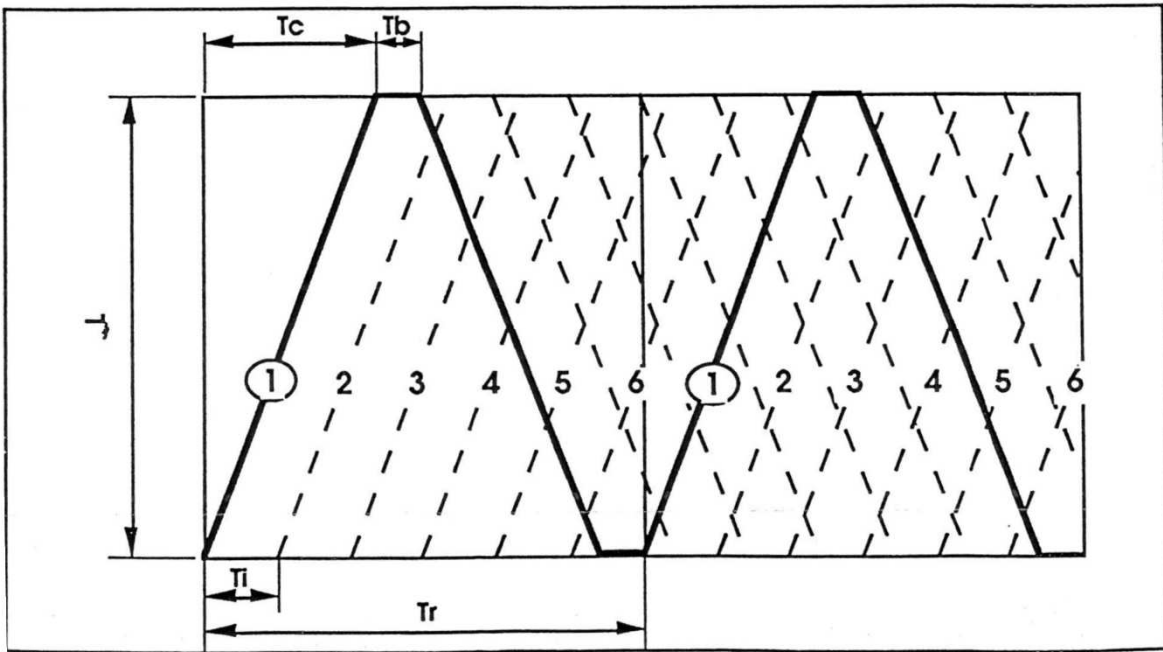
$$Tc = 60 * \frac{L}{V}$$
 - L , la longueur de la ligne (*km*)
 - V , la vitesse commerciale (*km/h*)

- Temps de rotation du matériel roulant (*min*)

$$Tr = 2 * \left(60 * \frac{L}{V} + Tb \right)$$
 - Tb , le temps de battement en tête de ligne (*min*)

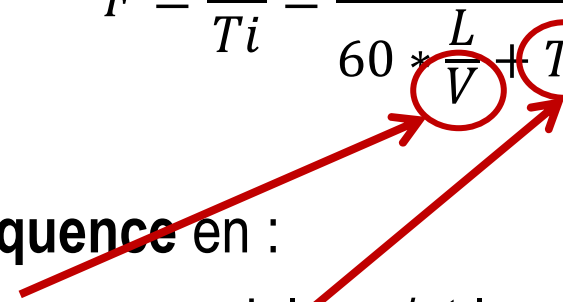
- Intervalle entre deux courses / cadence (*min*)

$$Ti = \frac{Tr}{X}$$
 - X , le nombre d'unité de transport simultanément en service



Calcul de l'offre : Calcul de la fréquence

▪ Fréquence (*courses/h*)

$$F = \frac{60}{T_i} = \frac{30 * X}{60 * \frac{L}{V} + T_b}$$


Augmentation de la fréquence en :

- Augmentant la vitesse commerciale ou/et le nombre de véhicules en service
- Diminuant le temps de battement ou/et la longueur de la ligne

Calcul de l'offre : **Calcul de la capacité**

- Capacité directionnelle
(*voy/h/sens*)

$$Cd = F * Cx$$

- Cx , la capacité des unités de transport ou le nombre de places offertes par convoi

- Capacité de la ligne
(*voy/h*)

$$Ct = 2 * F * Cx$$
$$= \frac{60 * X * Cx}{\frac{60 * L}{V} + Tb}$$

Augmentation de la capacité en :

- Augmentant la fréquence
- Augmentant la capacité unitaire des véhicules

Calcul de l'offre : Prestations d'exploitation et limites de trafic

- Prestations d'exploitation
(*vhc. km/h*)

$$Pe = 2 * F * L$$

- Prestations limites de trafic
(*voy. km/h*)

$$Pt = 2 * F * L * Cx$$

- L , la longueur de la ligne (*km*)
- Cx , la capacité des unités de transport ou le nombre de places offertes par convoi
- Fréquence (*courses/h*)

$$F = \frac{60}{Ti} = \frac{30 * X}{60 * \frac{L}{V} + Tb}$$

7. Hiérarchie du réseau routier

Types de routes et fonctions

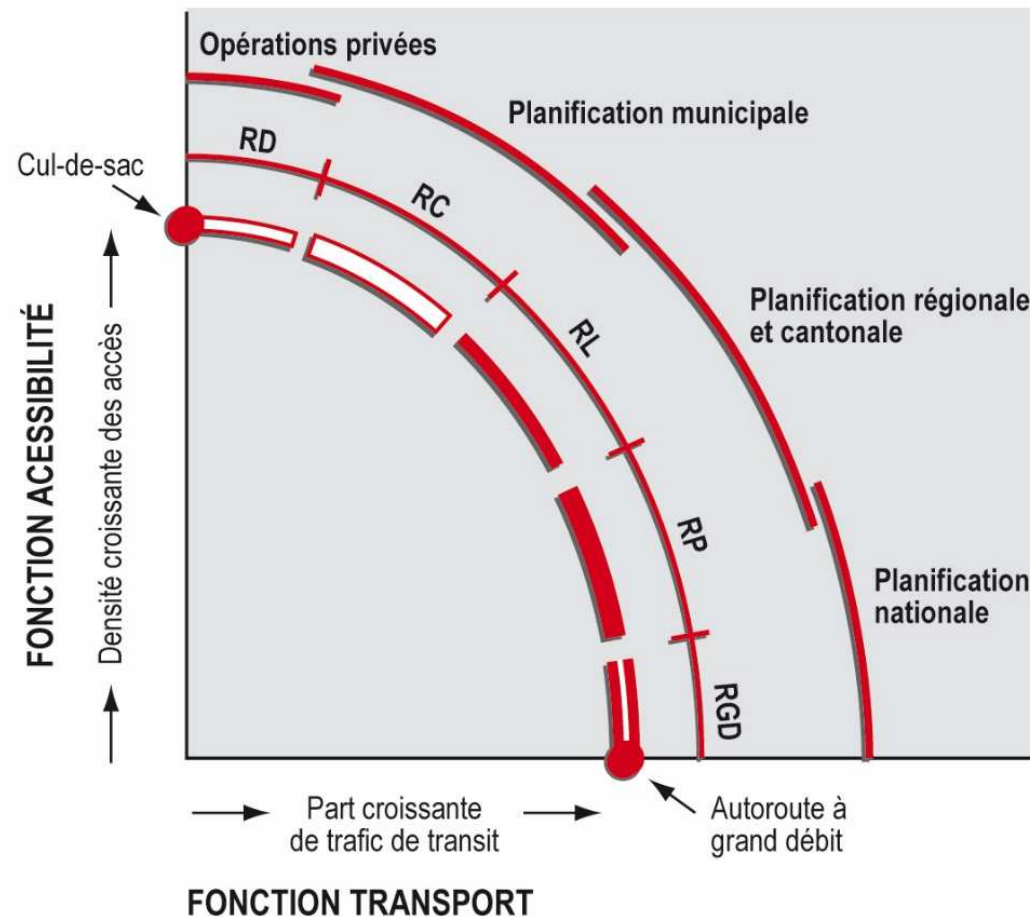
Schématisation de la hiérarchie routière

Hiérarchie des nœuds routiers

Types de routes et fonctions

Types de routes

- **Autoroute ou route à grand débit (RGD)** ; fonction **transport primordiale**
- **Artère principale (RP)** ; fonction **transport**
- **Route de liaison (RL)** ; fonction **transport – accessibilité**
- **Route collectrice (RC)** ; fonction **accessibilité – transport**
- **Voie de desserte (RD)** ; fonction **accessibilité**



Types de routes et fonctions

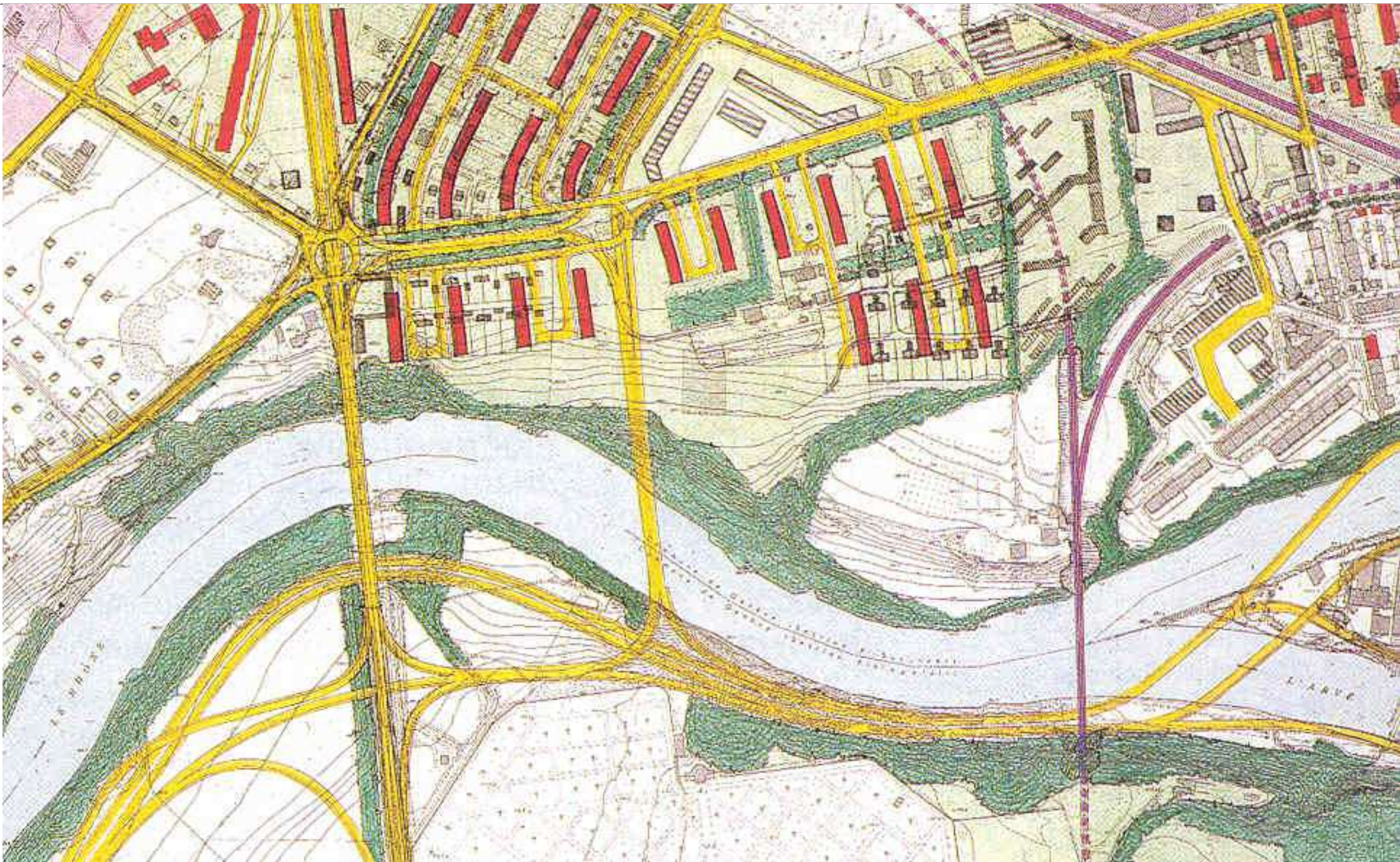
Différentes fonctions des routes selon VSS SN 640 040b.

Dans tout réseau routier, on s'efforce de définir un ordre hiérarchique des routes, d'où l'existence de diverses fonctions qui relèvent de la planification de la circulation. Elles sont classées comme suit:

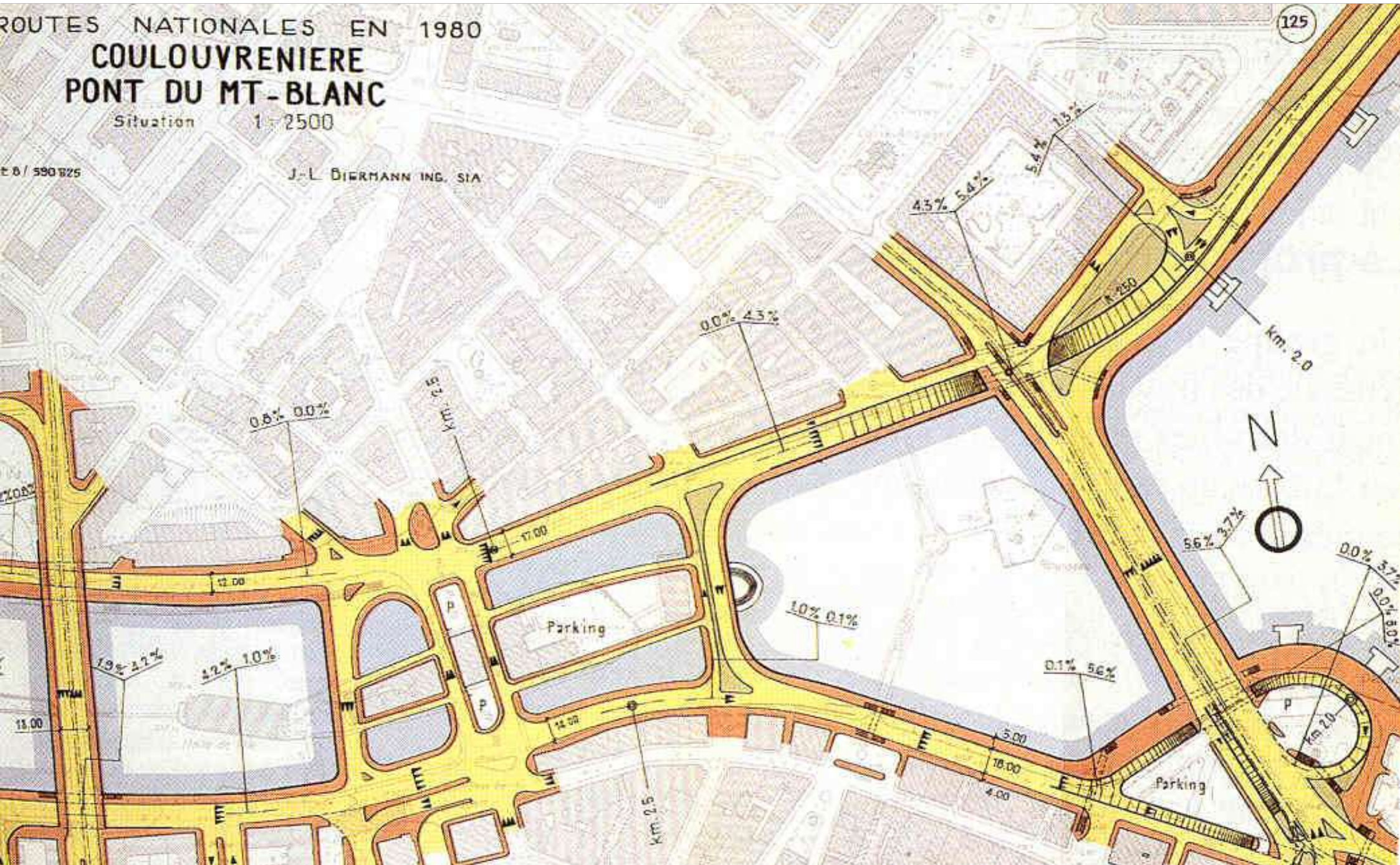
- desservir assurer l'accès aux parcelles et aux bâtiments
- collecter collecter la circulation dans les espaces bâtis
- relier relier des zones habitées, des parties d'agglomération de quartiers et d'autres aménagements générateurs de trafic
- transiter transiter la part de trafic étranger à une zone habitée en lui offrant des possibilités de contournement

Importance dans le réseau Fonction dans la planification	Continentale, nationale, interrégionale	Régionale	Interlocalité	Locale	De quartier
Transiter	RGD	RGD, RP			
Relier	RGD, RP	RP , RL	RL , RP	RC	
Collecter			RP, RL	RC	RD
Desservir			RL	RC	RD

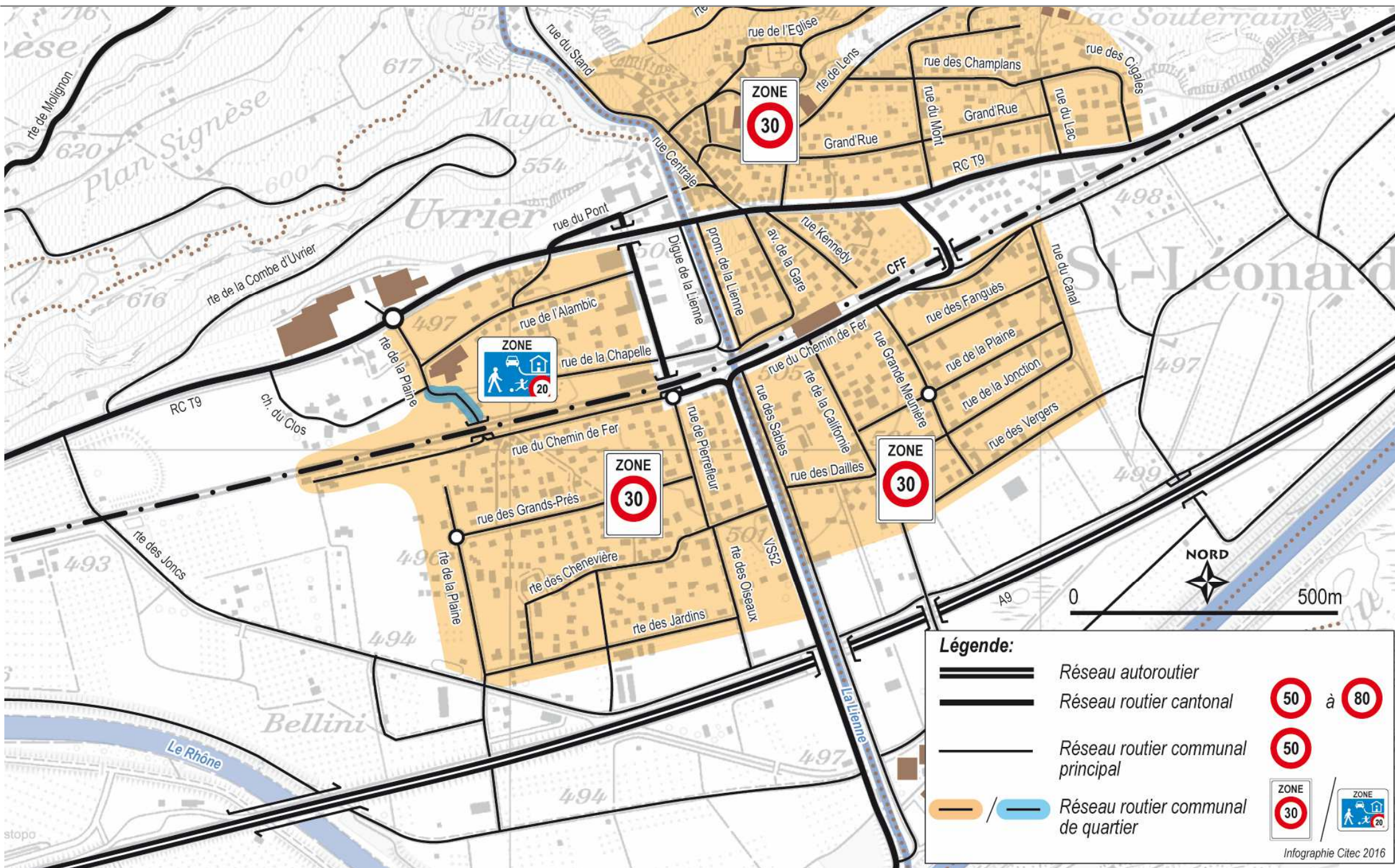
Hiérarchie routière: Exemple Genève 1960



Hiérarchie routière: Exemple Genève 1960



Hiérarchie routière: Exemple St-Léonard 2016



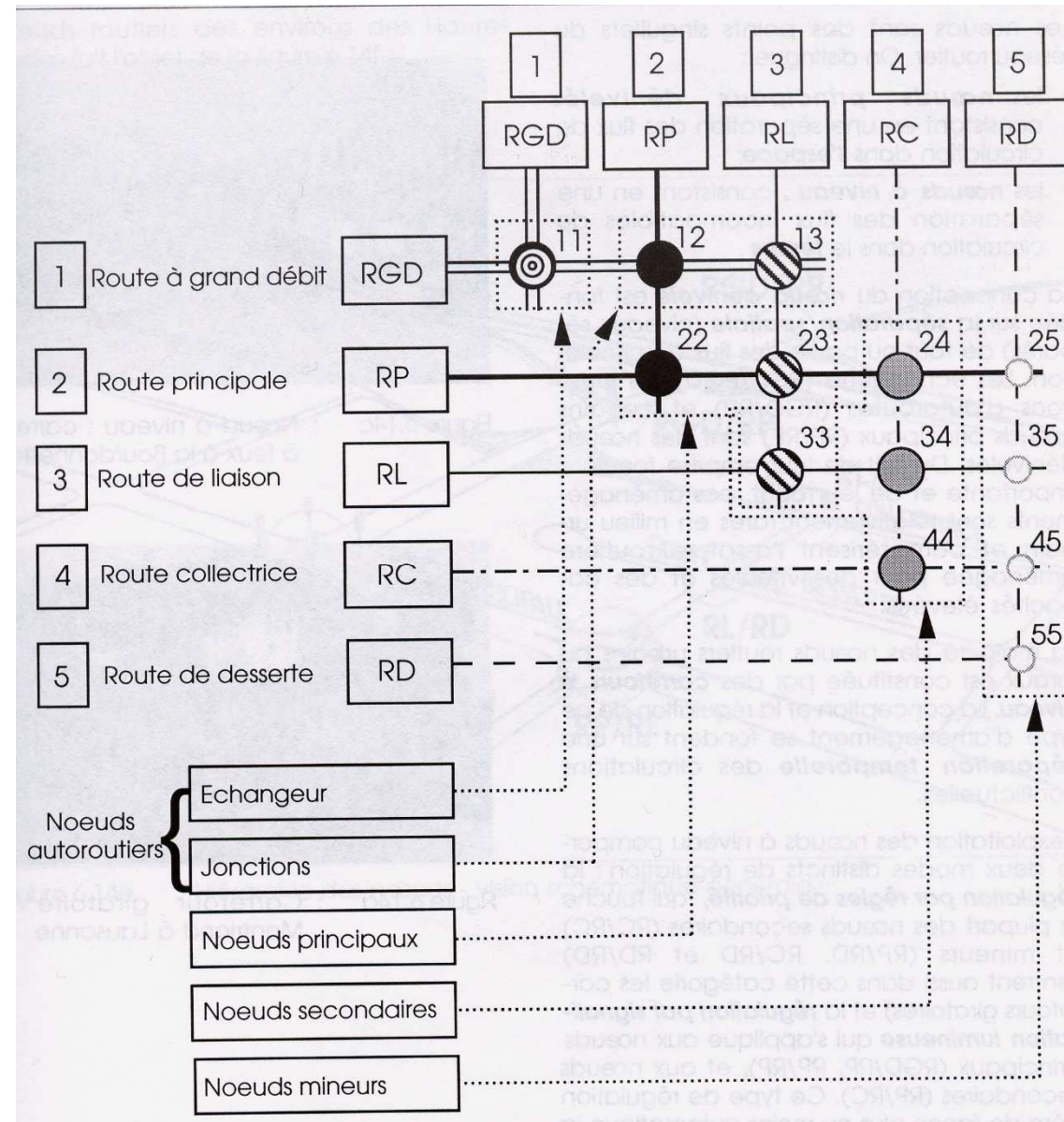
Hiérarchie des nœuds routiers

La constitution d'un réseau implique l'intersection de voies :

- De même niveau hiérarchique,
- De niveaux hiérarchiques différents.

On distingue :

- Les nœuds principaux dénivelés :
Séparation des flux de circulation dans l'espace,
Vitesses et capacités élevées.
- Les nœuds à niveau :
Séparation des flux incompatibles de circulation dans le temps,
Régulation des circulation conflictuelles.



Hiérarchie des nœuds routiers: **Les zones de péages**

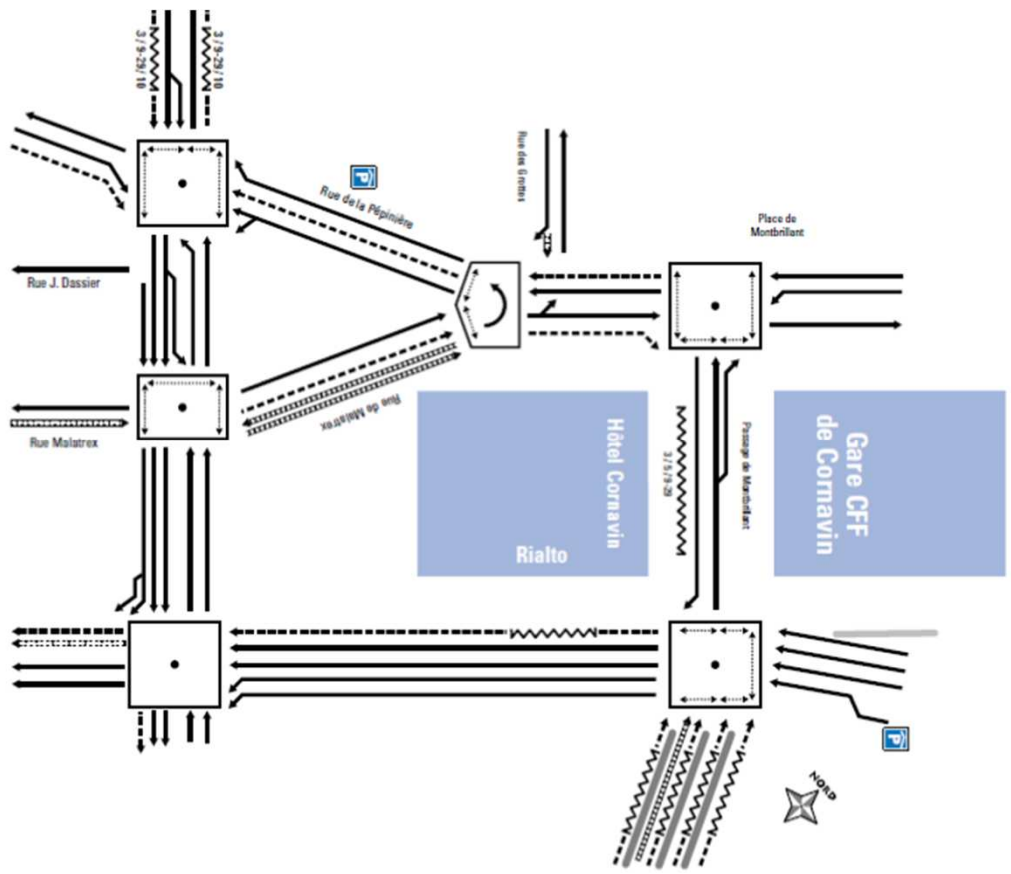


8. Plan des voies

Plan des voies

Schéma des voies

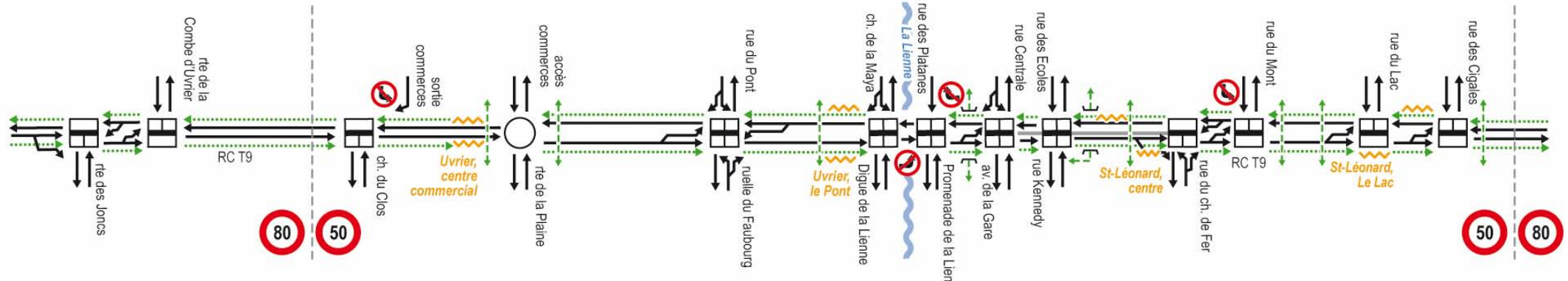
- Pour tous les modes
- Légende
- Échelle
- Nord



Légende :

- Voie T1
- Bande centrale polyvalente (pour les mouvements de tourne-à-gauche)
- ⋯ Bande cyclable
- ← Traversée piétonne (avec îlot central)
- ⋈ Arrêt bus (en encoche, excepté l'arrêt St-Léonard, centre côté Nord)
- Giratoire
- ◻ Carrefour à perte de priorité (stop ou céder-le-passage)

PLAN DES VOIES ACTUEL (2015)



9. Une croissance considérable de trafic d'ici 2040

VSS Route & Trafic N°10 Oct. 2016

Office fédéral du développement territorial (ARE), Perspectives d'évolution du transport 2040 30.08.2016

Introduction

Évolutions de trafic en Suisse calculées par l'Office fédéral du **développement territorial** (ARE) avec les offices fédéraux concernés, dont l'office fédéral :

- des **transports** (OFT) ;
- des **routes** (OFROU) ;
- de l'**énergie** (OFEN) ;
- de l'**environnement** (OFEV).

Perspectives de **transport voyageurs et marchandises** intégralement établies pour la première fois à l'aide :

- du Modèle national du trafic voyageurs (MNTP) ;
- de la Méthode agrégée pour le trafic de marchandises (MAM).

Perspectives d'évolution du transport établies à intervalles réguliers, servent de base pour :

- les **programmes d'infrastructures routières et ferroviaires** ;
- les **décisions** relevant des **politiques** de transport et de développement territorial.

Elles sont également utiles pour :

- établir les perspectives énergétiques ;
- le calcul des émissions de bruit et de polluants.

Ces perspectives se concentrent sur le transport terrestre (navigation et transport aérien pas pris en compte), et sont établies sous la forme de scénarios par hypothèse.

La mobilité marque un tournant historique

Monde marqué par l'individualisation, la croissance démographique/économique ainsi que l'urbanisation, les **besoins en mobilité vont continuer d'augmenter**. Pourtant, le trafic va connaître une évolution moins dynamique comparé aux 20 dernières années (routes nettement plus fréquentées qu'il y a seulement 10 ans) malgré les décongestionnements opérés grâce à la **suppression des goulets d'étranglements**.

En Suisse comme dans pays de l'UE, le trafic individuel motorisé (TIM) représente 75% des voyageurs-kilomètres (devrait guère changer ces 20 prochaines années).

Parc automobile mondial :

- décuplé ces 50 dernières années ;
- augmenté de 35% rien qu'entre 2000 et 2010 ;
- plus d'1 milliard de véhicules circulent à l'échelle mondiale.

Voiture reste donc, dans un avenir prévisible, moyen de transport numéro un. Et à l'avenir, les comportements en matière de mobilité seront encore bien trop liés au besoin de déplacement individuel.

Tournant actuel de «consommation» de mobilité historique, similaire aux bouleversements qui ont suivi l'invention de la voiture il y a 130 ans. XXI^{ème} siècle caractérisé par un besoin croissant en mobilité, mais aussi et surtout par une **diversité grandissante de formes de mobilité**.

Le **partage** et la **multimodalité** caractérisent la mobilité du futur. Dans les villes et agglomérations, les habitudes vont nettement **évoluer vers les transports publics, le vélo et la marche à pied**.

Le **numérique** rend le partage et la multimodalité possible, un débat ouvert et engagé sur les visions et scénarios à retenir est nécessaire afin de pouvoir exploiter son énorme potentiel d'**amélioration de concepts de transport**.

Scénarios des perspectives d'évolution du transport 2040

Un scénario de référence classique :

- Poursuite des évolutions de base constatées par le passé
- Prise en compte des tendances les plus récentes (élément clé étant la mobilité de la génération « seniors »)
- Scénario soumis aux mesures ; d'aménagement des infrastructures ; d'élargissement de l'offre de transport ; conformes aux planifications actuelles

Trois **scénarios alternatifs** pour calculer l'évolution du trafic sur la base de diverses structures d'habitat et de travail (densification ou étalement urbain) et avec différentes hypothèses en matière de politique de transports.

- « Balance » : prise en compte des aspects liés au développement durable (p. ex densification) et priorité donnée aux transports publics
- « Sprawl » : renforcement de l'étalement urbain avec priorité donnée à la mobilité individuelle
- « Focus » : développement différencié entre villes et espaces ruraux (urbanisation accentuée), progression du trafic essentiellement dans et entre les villes

Évolution des données socio-économiques clés

Hypothèses de **développement économique et démographique identiques** pour tous les scénarios.

Démographie	2000		2010			2020			2030			2040			2010-40	
	en mio. de personnes															
Population totale	7.204		7.870			8.758		9.541		10.044					+27.6%	
Population au 31.12.			+0.9% p.a.			+1.1% p.a.		+0.9% p.a.		+0.5% p.a.					+0.8% p.a.	
Répartition classes d'âge																
De 0 à 19 ans	23.1%		20.9%			19.7%		19.7%		19.0%					-1.9%-P.	
De 20 à 65 ans	62.7%		63.4%			62.2%		58.8%		57.7%					-5.7%-P.	
65 ans et plus	14.2%		15.7%			18.1%		21.5%		23.3%					+7.6%-P.	
Economie																
en mrd de CHF (val. réelle, base 2010)																
Produit intérieur brut	504		606			707		798		887					+46.4%	
			+1.8% p.a.			+1.6% p.a.		+1.2% p.a.		+1.1% p.a.					+1.3% p.a.	
Dépenses de consommation	287		330			389		454		516					+56.3%	
			+1.4% p.a.			+1.7% p.a.		+1.6% p.a.		+1.3% p.a.					+1.5% p.a.	
Commerce extérieur	258		359			473		594		676					+88.3%	
			+3.3% p.a.			+2.8% p.a.		+2.3% p.a.		+1.3% p.a.					+2.1% p.a.	

Sources : OFS 2015, SECO 2015, Ecoplan 2015.

p.a. Croissance annuelle moyenne

P. Points de pourcentage

Scénario de référence classique 2040

Perspectives d'évolution du transport 2040

Le trafic continue de progresser fortement, mais moins rapidement que ces dernières années.

Trafic voyageurs Trafic marchandises



+25%



+37%

Les trajets d'achat et de loisirs sont ceux qui progressent le plus tandis que les trajets pour le motif travail sont ceux qui augmentent le moins. Cela s'explique par la réduction de la part de la population active et par plus de retraités plus mobiles.

Achats

Loisirs

Travail



+38%



+32%



+16%

S'agissant du trafic voyageurs (v-km), ce sont les transports publics qui affichent la plus forte progression et le transport individuel motorisé la plus faible.

TP



+51%

MD



+32%

TIM



+18%

Les principaux vecteurs de développement des transports restent la croissance démographique et l'expansion économique.

Population



+28%

Economie



+46%

En matière de trafic marchandises (t-km), la part du rail augmente plus que celle de la route.

Rail



+45%

Route



+33%

© ARE

Résultats de l'évolution du trafic voyageurs suivant les scénarios

Volume par mode de transport		Référence					Balance			Sprawl			Focus		
en mio. de courses par jour ouvrable		2010	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040
Total	Résultats modélisés 2010 et 2040	28.217	36.006	35.978	36.391	36.478	-0.1%	+1.1%	+1.3%	-0.1%-P.	+1.4%-P.	+1.7%-P.			
TIM		14.141	17.150	16.079	18.507	17.256	-6.2%	+7.9%	+0.6%	-7.6%-P.	+9.6%-P.	+0.7%-P.			
Voitures, motos et cyclomoteurs		2.861	4.074	4.019	3.540	3.620	-1.3%	-13.1%	-11.1%	-1.9%-P.	-18.6%-P.	-15.9%-P.			
TP		1.334	1.760	1.907	1.690	1.828	+8.3%	-4.0%	+3.8%	+11.0%-P.	-5.2%-P.	+5.0%-P.			
Train, tram, (trolley-)bus		9.880	13.021	13.973	12.654	13.775	+7.3%	-2.8%	+5.8%	+9.6%-P.	-3.7%-P.	+7.6%-P.			
Vélo															
Marche															
Prestations de transport par mode		Référence					Balance			Sprawl			Focus		
en mio. de voyageurs-kilomètres p.a.		2010	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	
Total	Résultats modélisés 2010 et 2040	115'187	144'510	138'065	140'095	140'974	-4.5%	-3.1%	-2.4%	-5.6%-P.	-3.8%-P.	-3.1%-P.			
TIM		85'442	100'930	97'292	105'174	101'048	-3.6%	+4.2%	+0.1%	-4.3%-P.	+5.0%-P.	+0.1%-P.			
Voitures, motos et cyclomoteurs		22'163	33'568	30'001	25'223	29'570	-10.6%	-24.9%	-11.9%	-16.1%-P.	-37.6%-P.	-18.0%-P.			
TP		2'116	2'822	3'080	2'675	2'905	+9.1%	-5.2%	+3.0%	+12.2%-P.	-6.9%-P.	+4.0%-P.			
Train, tram, (trolley-)bus		5'466	7'190	7'692	7'022	7'450	+7.0%	-2.3%	+3.6%	+9.2%-P.	-3.1%-P.	+4.8%-P.			
Vélo															
Marche															
Split modal		Référence					Balance			Sprawl			Focus		
d'après les voyageurs-kilomètres		2010	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	
TIM	Résultat. modélisés 2010 et 2040	74.2%	69.8%	70.5%	75.1%	71.7%	+0.6%-P.	+5.2%-P.	+1.8%-P.	-4.3%-P.	+5.0%-P.	+0.1%-P.			
Voitures, motos et cyclomoteurs		19.2%	23.2%	21.7%	18.0%	21.0%	-1.5%-P.	-5.2%-P.	-2.3%-P.	+0.3%-P.	-0.0%-P.	+0.1%-P.			
TP		1.8%	2.0%	2.2%	1.9%	2.1%	+0.3%-P.	-0.0%-P.	+0.1%-P.	+0.1%-P.	+0.4%-P.	+0.2%-P.			
Train, tram, (trolley-)bus		4.7%	5.0%	5.6%	5.0%	5.3%	+0.6%-P.	+0.0%-P.	+0.3%-P.	+0.2%-P.	+0.8%-P.	+0.5%-P.			
Vélo															
Marche															
Prestation de transport TIM		Référence					Balance			Sprawl			Fokus		
en mio. de véhicules-kilomètres p.a.		2010	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	
Total	Résultat. modélisés 2010 et 2040	52'418	61'920	54'658	68'890	63'955	-11.7%	+11.3%	+3.3%	-13.9%-P.	+13.3%-P.	+3.9%-P.			
Routes à grand débit		20'197	23'351	21'091	25'677	24'071	-9.7%	+10.0%	+3.1%	-11.2%-P.	+11.5%-P.	+3.6%-P.			
Routes à grande circulation		19'921	23'077	20'321	25'435	23'799	-11.9%	+10.2%	+3.1%	-13.8%-P.	+11.8%-P.	+3.6%-P.			
Routes collectrices et de desserte		12'300	15'493	13'246	17'778	16'085	-14.5%	+14.8%	+3.8%	-18.3%-P.	+18.6%-P.	+4.8%-P.			

Différences des scénarios alternatifs par rapport au scénario de référence classique 2040

Résultats de l'évolution du trafic marchandises suivant les scénarios

Volume par mode de transport en milliers de tonnes		Référence 2010	Référence 2040	Balance 2040	Sprawl 2040	Focus 2040	Balance	Sprawl	Focus
Total	Résultats modélisés 2010 et 2040	420'197	574'265	574'265	574'265	573'714	0%	0%	-0.1%
			+36.7%	+36.7%	+36.7%	+36.5%	0%-P.	0%-P.	-0.1%-P.
		347'639	483'657	481'042	488'094	487'798	-0.5%	+0.9%	+0.9%
			+39.1%	+38.4%	+40.4%	+40.3%	-0.8%-P.	+1.3%-P.	+1.2%-P.
		58'087	81'382	84'055	76'748	76'748	+3.3%	-5.7%	-5.7%
	+40.1%	+44.7%	+32.1%	+32.1%	+4.6%-P.	-8.0%-P.	-8.0%-P.		
Rhin		6'518	5'595	5'576	5'684	5'576	-0.3%	+1.6%	-0.3%
			-14.2%	-14.5%	-12.8%	-14.5%	-0.3%-P.	+1.4%-P.	-0.3%-P.
Pipelines		7'953	3'631	3'592	3'738	3'592	-1.1%	+2.9%	-1.1%
			-54.3%	-54.8%	-53.0%	-54.8%	-0.5%-P.	+1.3%-P.	-0.5%-P.
Prestations de transport par mode en mio. de tonnes-kilomètres		Référence 2010	Référence 2040	Balance 2040	Sprawl 2040	Focus 2040	Balance	Sprawl	Focus
Total	Résultats modélisés	26'675	36'587	36'769	36'269	36'033	+0.5%	-0.9%	-1.5%
			+37.2%	+37.8%	+36.0%	+35.1%	+0.7%-P.	-1.2%-P.	-2.1%-P.
		16'870	22'402	22'259	22'643	23'900	-0.6%	+1.1%	+6.7%
			+32.8%	+31.9%	+34.2%	+41.7%	-0.8%-P.	+1.4%-P.	+8.9%-P.
		9'805	14'185	14'509	13'626	12'134	+2.3%	-3.9%	-14.5%
	+44.7%	+48.0%	+39.0%	+23.8%	+3.3%-P.	-5.7%-P.	-20.9%-P.		
Rail		6'436	8'851	8'786	8'939	8'898	-0.7%	+1.0%	+0.5%
			+37.5%	+36.5%	+38.9%	+38.2%	-1.0%-P.	+1.4%-P.	+0.7%-P.
Routes à grand débit		3'437	4'905	4'863	4'954	4'942	-0.9%	+1.0%	+0.8%
			+42.7%	+41.5%	+44.2%	+43.8%	-1.2%-P.	+1.4%-P.	+1.1%-P.
Routes à grande circulation		1'905	2'551	2'536	2'576	2'556	-0.6%	+1.0%	+0.2%
			+33.9%	+33.1%	+35.2%	+34.2%	-0.8%-P.	+1.3%-P.	+0.3%-P.
Routes collectrices et de desserte		1'094	1'394	1'387	1'408	1'399	-0.5%	+1.0%	+0.3%
			+27.4%	+26.8%	+28.7%	+27.8%	-0.6%-P.	+1.3%-P.	+0.4%-P.
Split modal lié aux volumes d'après les tonnes		Référence 2010	Référence 2040	Balance 2040	Sprawl 2040	Focus 2040	Balance	Sprawl	Focus
Route	Résultat modélisés 2010 et 2040	82.7%	84.2%	83.8%	85.0%	85.0%	-0.5%-P.	+0.8%-P.	+0.8%-P.
			+1.5%-P.	+1.0%-P.	+2.3%-P.	+2.3%-P.			
Rail		13.8%	14.2%	14.6%	13.4%	13.4%	+0.5%-P.	-0.8%-P.	-0.8%-P.
			+0.3%-P.	+0.8%-P.	-0.5%-P.	-0.4%-P.			
Rhin		1.6%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	-0.0%-P.	+0.0%-P.	-0.0%-P.
			-0.6%-P.	-0.6%-P.	-0.6%-P.	-0.6%-P.			
Pipelines		1.9%	0.6%	0.6%	0.7%	0.6%	-0.0%-P.	+0.0%-P.	-0.0%-P.
			-1.3%-P.	-1.3%-P.	-1.2%-P.	-1.3%-P.			
Split modal lié aux prestations d'après les tonnes-kilomètres		Référence 2010	Référence 2040	Balance 2040	Sprawl 2040	Focus 2040	Balance	Sprawl	Focus
Route	Résultats modélisés	63.2%	61.2%	60.5%	62.4%	66.3%	-0.7%-P.	+1.2%-P.	+5.1%-P.
			-2.0%-P.	-2.7%-P.	-0.8%-P.	+3.1%-P.			
Rail		36.8%	38.8%	39.5%	37.6%	33.7%	+0.7%-P.	-1.2%-P.	-5.1%-P.
			+2.0%-P.	+2.7%-P.	+0.8%-P.	-3.1%-P.			

Différences des scénarios alternatifs par rapport au scénario de référence classique 2040

Synthèse de l'évolution du trafic et conclusion

Trafic continue d'augmenter ces 20-30 prochaines années, mais rythme inférieur aux 20 précédentes. Évolution principalement due à la croissance démographique et l'expansion économique, progression plus élevée que celle des pays européens voisins. Tous les moyens de transports participent à la croissance.

Evolution du trafic voyageurs :

- Par le passé, croissance du trafic généralement supérieure à celle de la population, effet inverse prévu
- La route (au-delà de certains segments autoroutiers, les nœuds de trafic local aux heures de pointes) nettement plus saturée que dans les anciens prospectifs (Perspectives 2030 par ex.)
- **Hausses de coûts attendues** alors que budget dédié à la mobilité va rester limité
- Projets d'aménagement (ex. programme élimination goulets d'étranglement) permettent certes des améliorations ponctuelles (dans le temps et l'espace), mais les goulets existants vont demeurer très chargés et au final, on assiste à une **dégradation des niveaux de service par rapport à aujourd'hui**.
- Encombres dans aggro. et routes nationales (y-c du fait de la hausse du transport routier de marchandise) risquent de provoquer un **trafic d'évitement sur réseau des routes secondaires**
- Hausse des **TP** plus importante que les autres modes, allant jusqu'à un **doublément de la demande sur certaines liaisons**, dans quelle mesure les TP pourront absorber la croissance prévue si pas d'autres mesures prises ?
- Concept d'offre AE 2025 ne devrait pas suffire à répondre de manière satisfaisante à l'ensemble de la demande.

Synthèse de l'évolution du trafic et conclusion

Evolution du trafic marchandise :

- Volumes et prestations de transport marchandises poursuivent leur progression
- Léger report des prestations de transport vers le rail, forte hausse des taux d'utilisation sur le rail du fait des tensions incitant à accroître la productivité et à une moindre augmentation des coûts de transport que par la route, déjà très productive
- D'après prescriptions de Perspectives énergétiques 2050, l'importance des transports de sources d'énergies (carburants fossiles et huiles de chauffage), généralement faits par le rail, va aller décroissant
- À l'inverse, le fret ferroviaire gagne des parts de marché en matière de transport combiné (rail-route) et, de manière générale, en matière de trafic de détail et groupage

Sources

- Traité de Génie Civil, Volume 25, *Voie de circulation*, A-G. Dumont - M. Tille - A. Carter
- Cours Panos Tzieropoulos 2014



EPFL



Villes et Transports

Cours réalisé avec le support de **citec**

EPFL
Génie Civil

Responsable du cours:
Franco Tufo, Ingénieur Transports EPFL
franco.tufo@epfl.ch ■