

OPTIREL

La modélisation en situation des
voitures autonomes
Complémentarité et concurrence
avec le Transport Public ?

Guy BOURGEOIS –25 Janvier 2017

PLAN DE LA PRESENTATION

- Une introduction à OPTIREL
- Présentation du territoire modélisé : l'ouest du plateau de Saclay-Satory
- La desserte de Satory
- La desserte du Technocentre Renault et de ses environs
- Un service étendu sur tout le territoire et l'arrivée de la ligne 18 du métro du Grand Paris Express
- Quelques conclusions

UNE INTRODUCTION A OPTIREL

OBJECTIF : évaluation **économique** des nouveaux services de proximité offerts en alternative à la voiture individuelle.

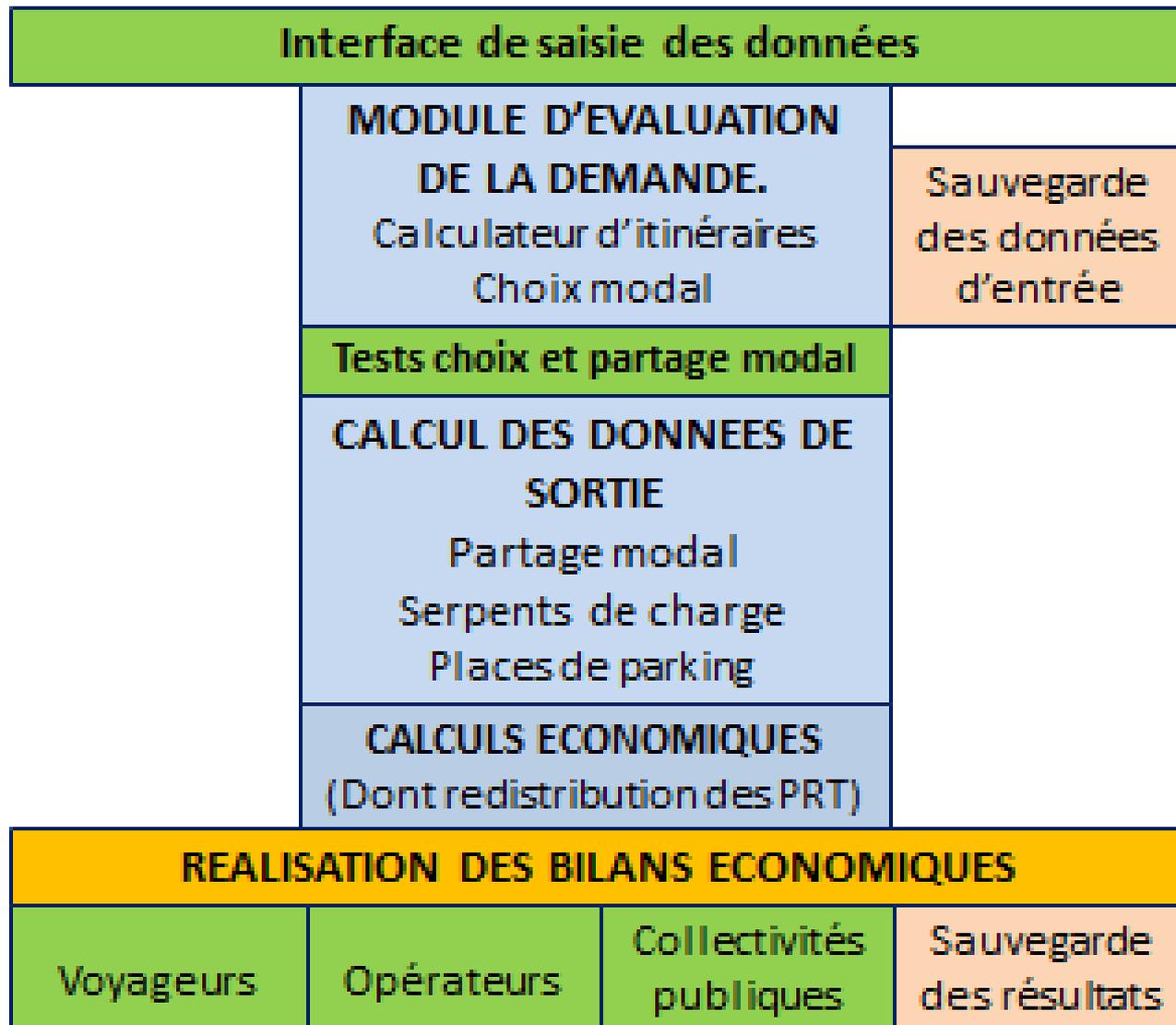
METHODE : mesurer les conséquences sur les arbitrages effectués par les voyageurs des choix des opérateurs sur les services offerts (interactions offre-demande).

MOYENS MOBILISES PAR OPTIREL :

- **une modélisation très fine de la zone étudiée** et une modélisation simplifiée de ses connexions à son environnement plus lointain
- **des principes de modélisation éprouvés** (calculateurs d'itinéraires, LOGIT,...)
- **de nouveaux algorithmes innovants** qui résolvent la question, scientifiquement complexe, de la **redistribution**.

**OPTIREL tourne en temps réel sur un PC de milieu de gamme.
C'est un outil conçu pour les AO, les industriels et les opérateurs.
Il n'a pas (encore ?) de concurrent de France**

PRESENTATION SCHEMATIQUE D'OPTIREL

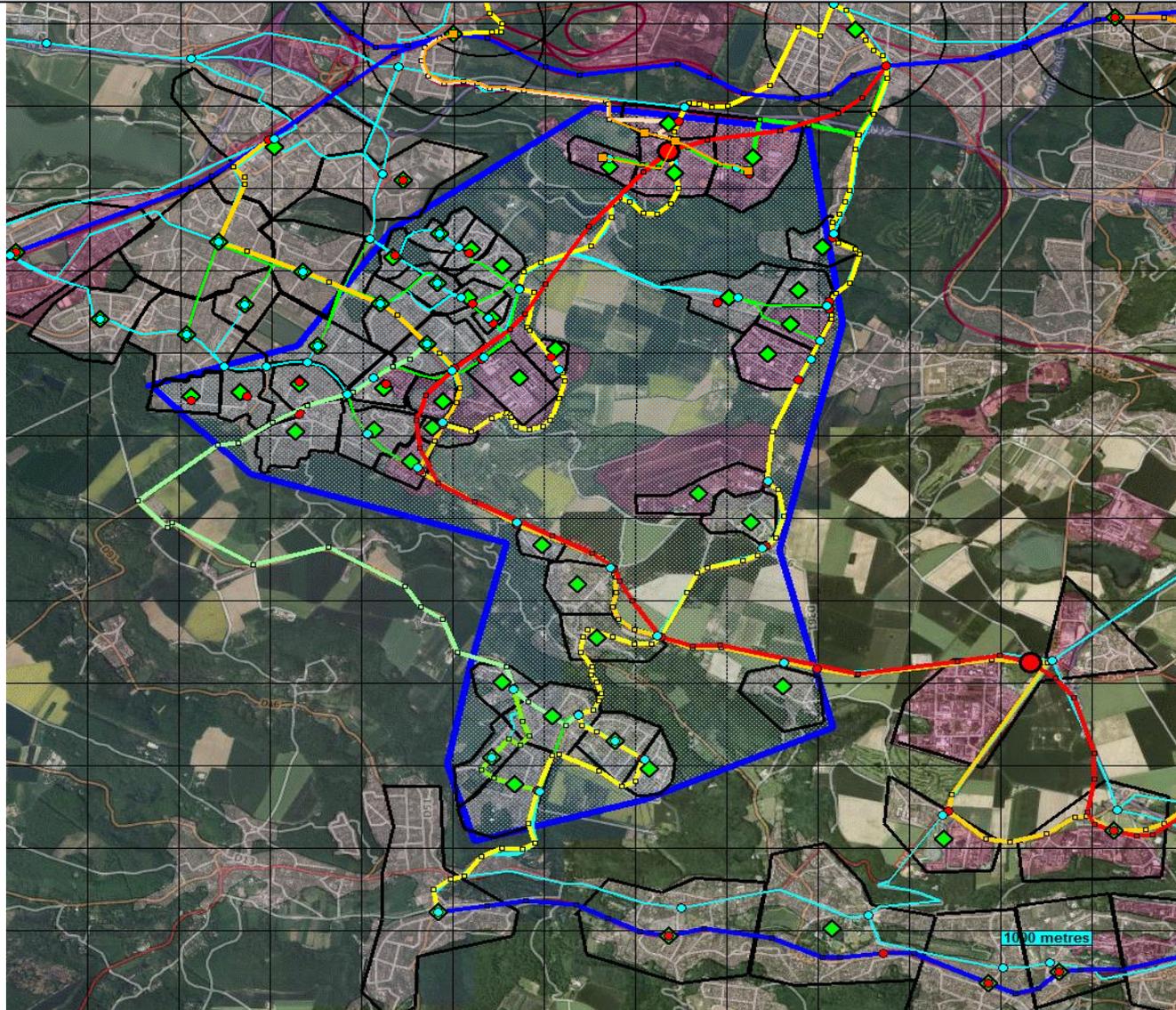


Modules de calcul Python

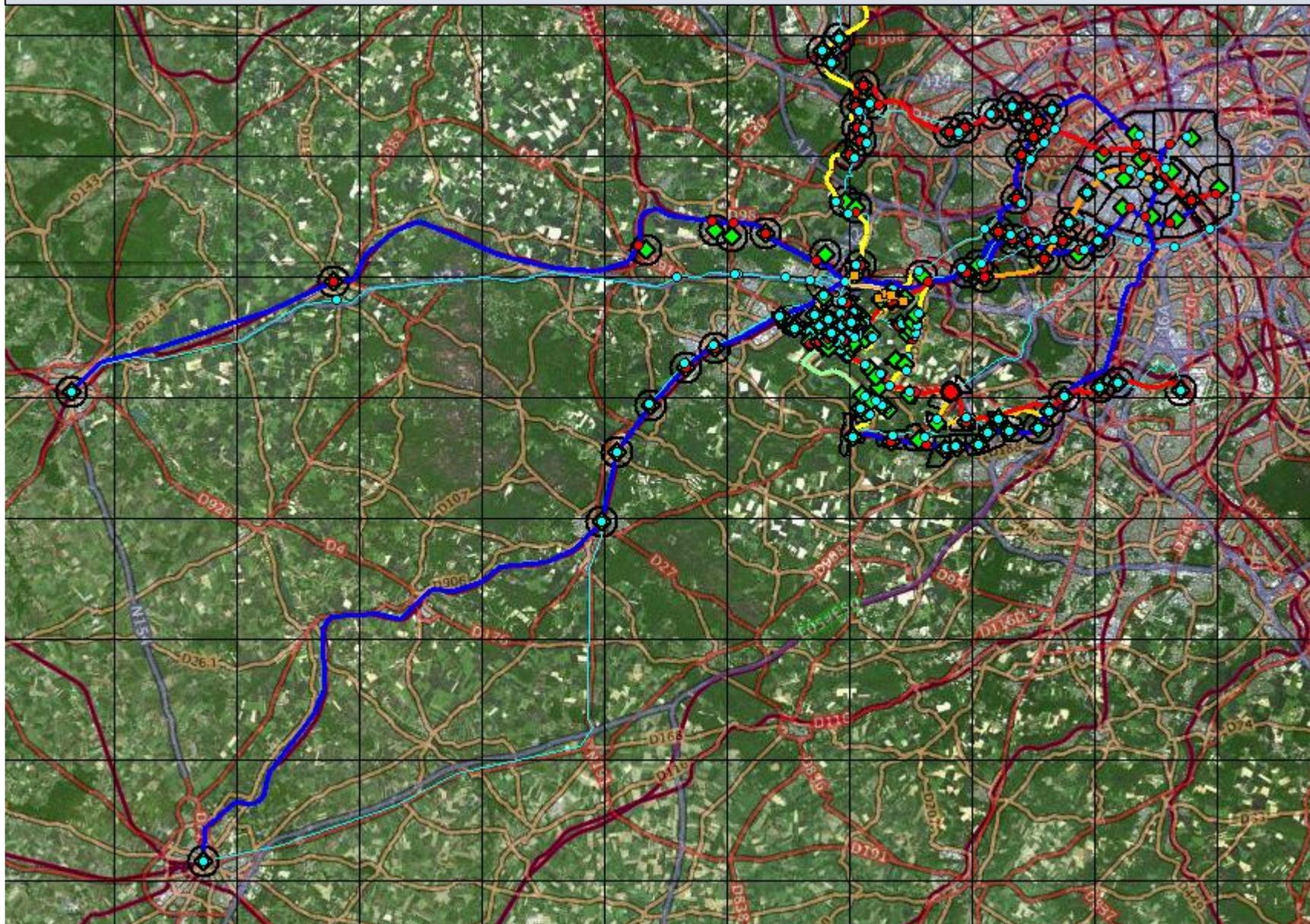
Excel

Interface graphique TKinter

LA ZONE MODELISEE : L'OUEST DU PLATEAU DE SACLAY-SATORY

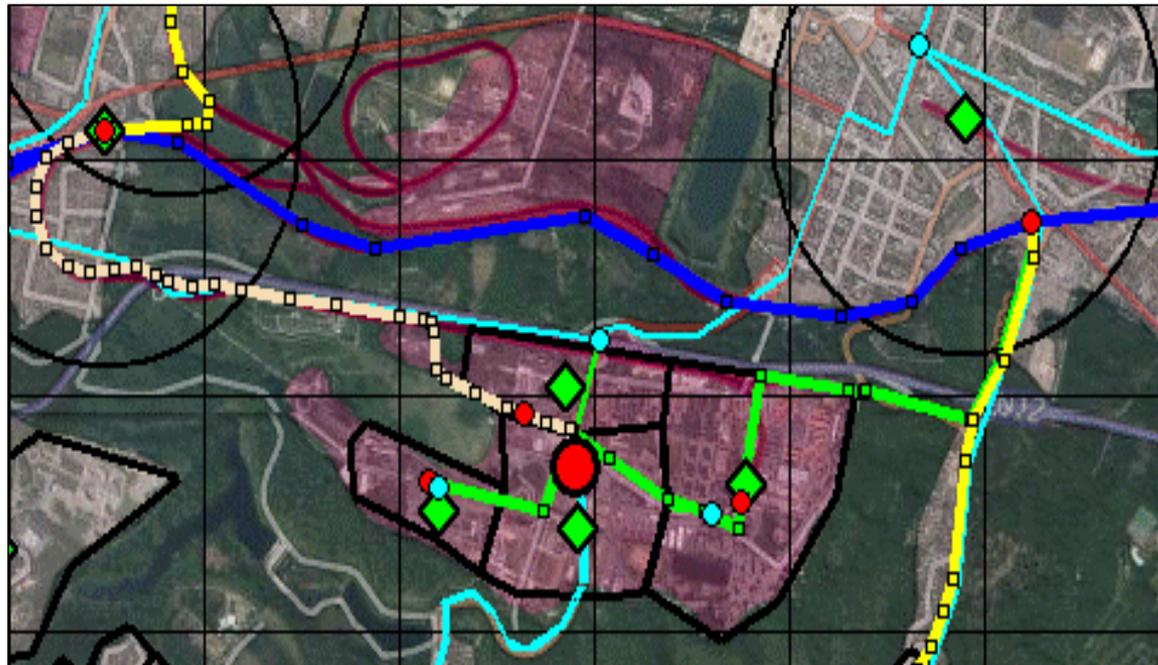


LA ZONE MODELISEE : SES CONNEXIONS EXTERIEURES

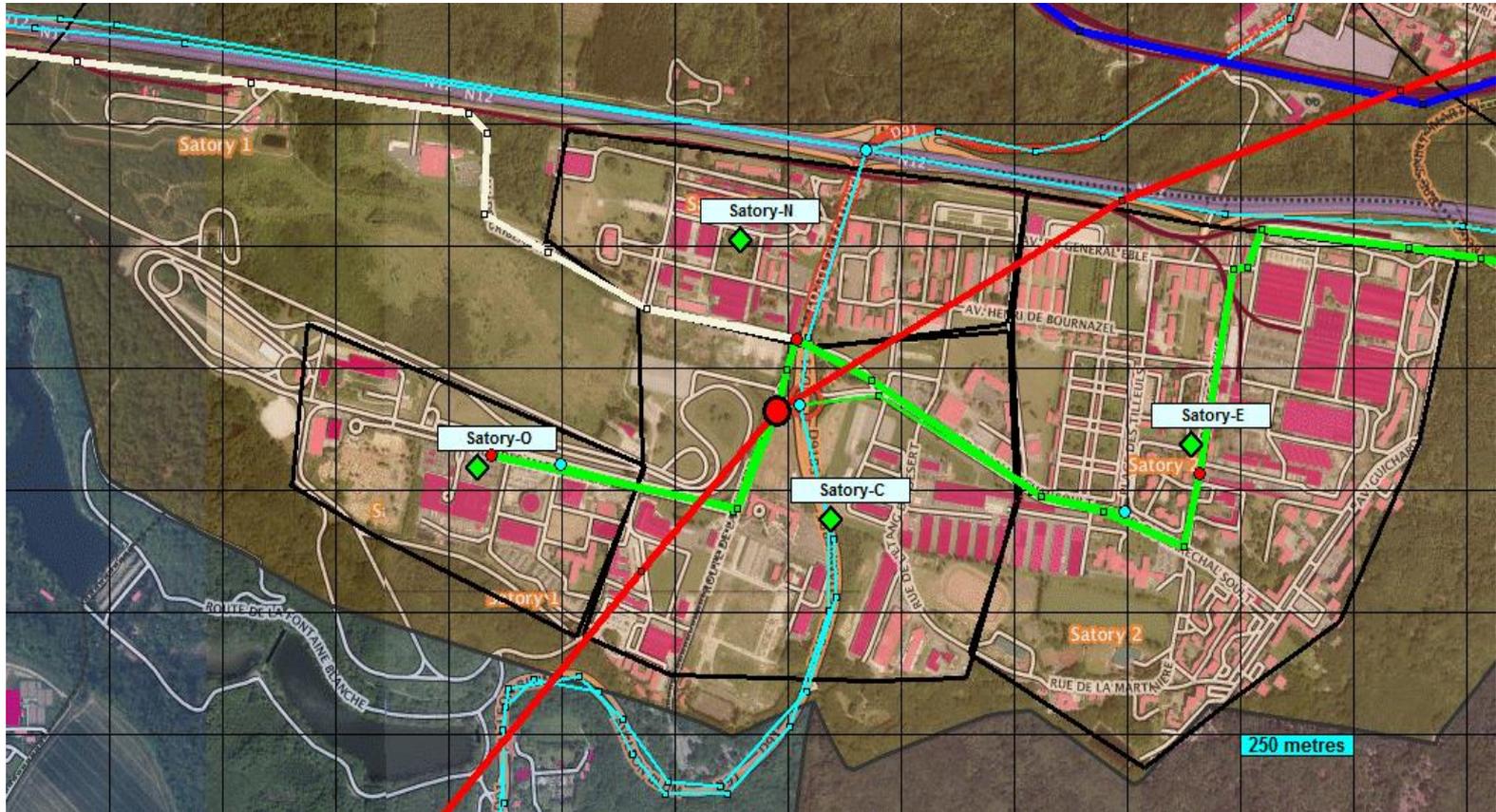


DESSERTTE DE SATORY : LE PROBLEME POSE

- La desserte actuelle se fait par une ligne de bus classique, qui traverse une zone très congestionnée
- A Versailles, la mise en site propre est impossible
- Aussi le détour par la Gare de Saint-Cyr et la récupération d'un emprise ferroviaire pour en faire un site propre est la solution privilégiée, en attendant l'arrivée du métro du Grand Paris Express



LA MODELISATION DU PLATEAU DE SATORY



+



OD SC1 = 1822/1822 OD SC2 = 1822/1822

ANALYSE DU PARTAGE MODAL

PARTAGE MODAL	SC1	SC2	SC2-SC1
VP	1260	1238	-22
TC + Bus	562	584	22
dont LEX	98	498	400

TEMPS, DISTANCES ET COÛTS MOYENS

TOUS VOYAGEURS	SC1	SC2	SC2-SC1
Distance (km)	14.50	15.54	1.04
Temps (mn)	32.90	33.43	0.53
Cout (euros/mois)	79.79	78.09	-1.69

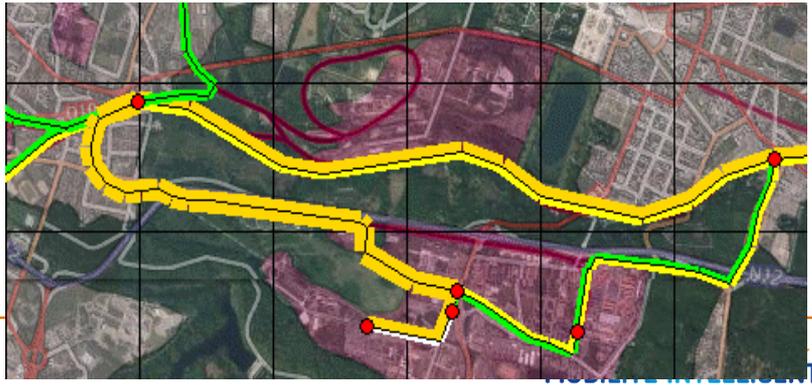
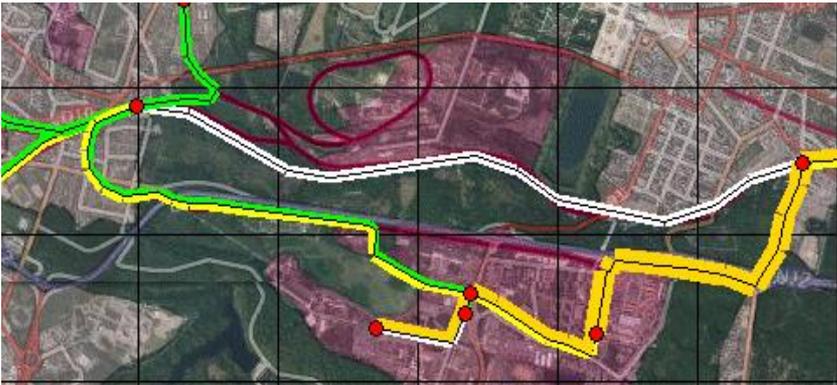
VP	SC1	SC2	SC2-SC1
Distance (km)	8.92	8.85	-0.07
Temps (mn)	18.47	18.68	0.20
Cout (euros/mois)	99.76	98.44	-1.33

TC + Bus	SC1	SC2	SC2-SC1
Distance (km)	27.02	29.73	2.71
Temps (mn)	65.24	64.68	-0.57
Cout (euros/mois)	35.00	35.00	-0.00

L'évaluation du potentiel de la nouvelle liaison :

- SC1 : au minimum, avec une vitesse lente (**20 km/h**)
- SC2 : au maximum, avec une vitesse rapide (**50 km/h**)

Vitesse sur LEX	20 km/h	25 km/h	30 km/h	35 km/h	40 km/h	45 km/h	50 km/h	55 km/h
VP	1318	1293	1275	1262	1252	1244	1234	1224
TC + Bus	504	529	547	560	570	579	589	598
dont LEX	222	248	265	278	289	356	498	508
TOTAL	1822	1822	1822	1822	1822	1822	1822	1822



LES NOUVEAUX SERVICES DE MOBILITE TESTES SUR SATORY



La LEX (liaison expérimentale)

Une ligne de bus automatisée équipée de navettes type NAVYA.



Autolib ou PRT

Quatre stations pour rejoindre Saint-Cyr.

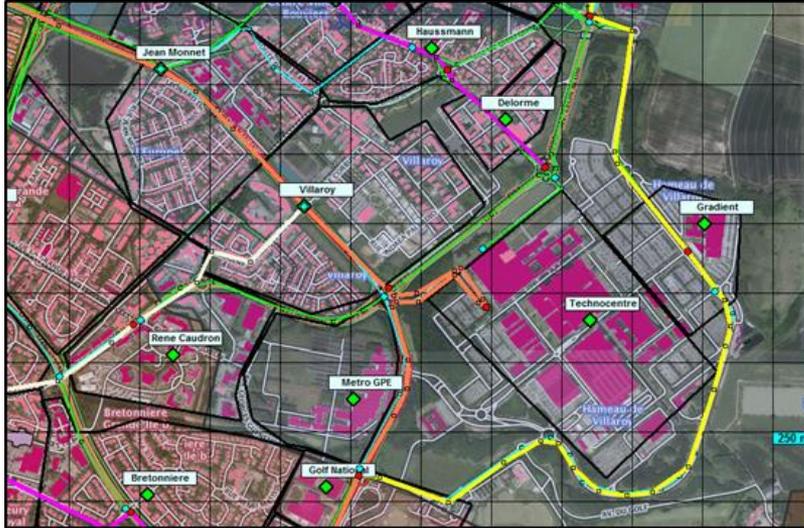
Un P+R

Pour les habitants des zones plus éloignées

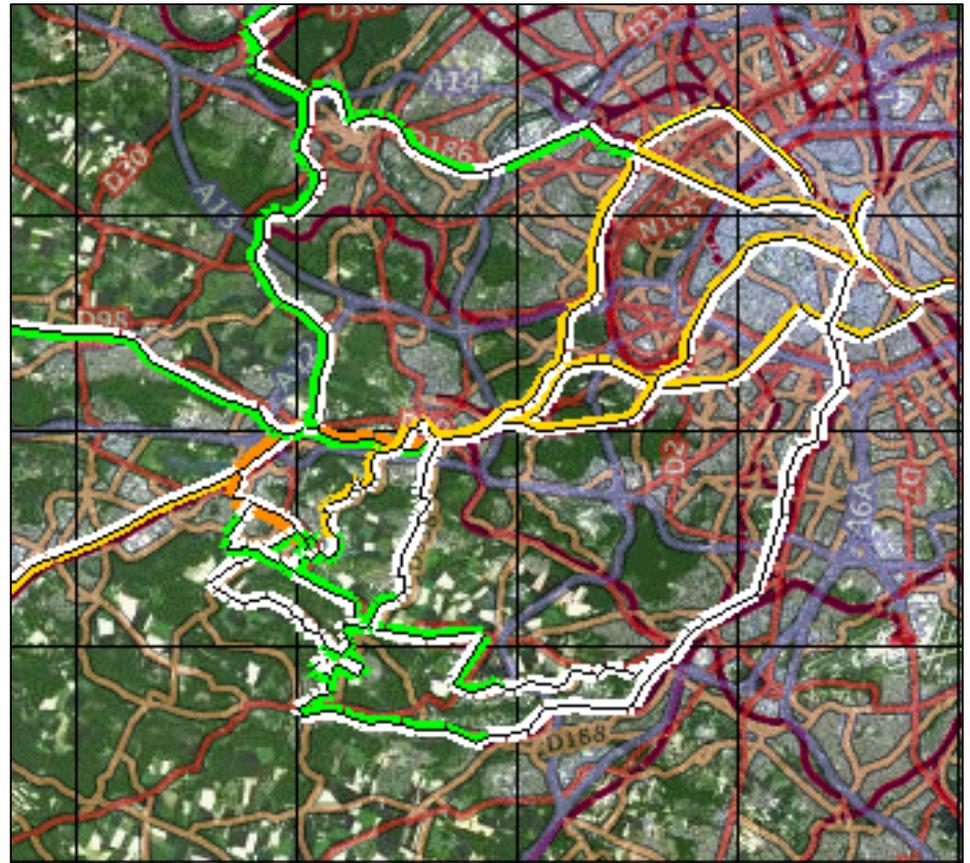
QUE CONCLURE DE L'ETUDE DU CAS DE LA DESSERTE DE SATORY ?

- Dans la meilleure des hypothèses, **le transfert VP -> TC reste très marginal.**
- **Les trois solutions étudiées conduisent toutes à une amélioration du système de transport qui dessert le plateau de Satory. La meilleure solution est la voiture en libre-service, suivie du PRT, suivie de la ligne TC automatisée. Mais les gains de temps réalisés par les systèmes plus performants se payent, et la question de l'acceptabilité par les voyageurs de ce surcoût financier doit être posée.**
- **L'installation d'un P+R est un complément indispensable, et il est parfaitement justifié de fixer son tarif à un niveau élevé.**
- **Si c'est le même opérateur qui gère l'ensemble, il y gagne. Sinon la concurrence des nouvelles solutions ruine l'ancienne.**

UNE DESSERTE DU TECHNOCENTRE RESERVEE A SES PERSONNELS



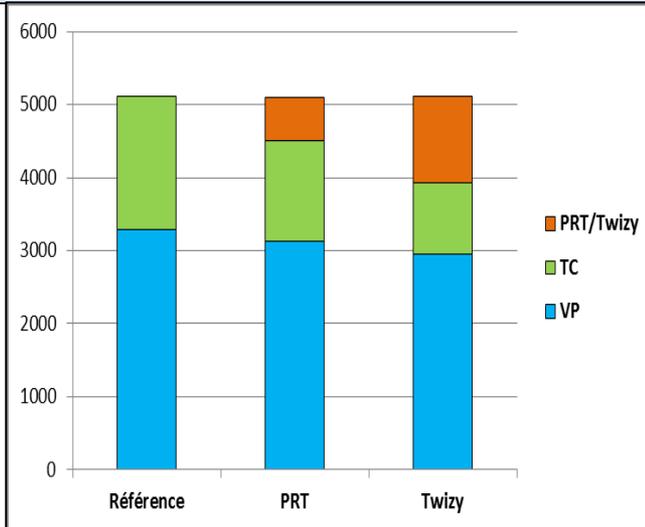
Un accès compliqué en TC



Mais des personnels qui viennent de partout et de très loin.

Comparaison de deux systèmes

- **SC1 : PRT**, véhicules de 4 places, entièrement automatiques (coût 30 K€). Vitesse limite 30 km/h.
- **SC2 : Twizy** 2 places (coût 8 K€), conduits par un voyageur; redistribution en convois conduits par des chauffeurs. Vitesse limite 50 km/h



- **Recette et coût par voyageur très proches.**
- **Twizy prend deux fois plus de voyageurs.**
- **Peu de transfert modal VP->TC**

RESULTATS	SC1	SC2
Nombre total de voyageurs	606	1174
Voyageurs-Kilometres	4578.82	9019.92
Distance moyenne parcourue par voyageur	7.56	7.68
Nombre de vehicules necessaires	60	259
Vehicules-Kilometres	1959.29	8297.55
Distance moyenne parcourue par vehicule	32.65	32.04
Nombre de chauffeurs necessaires	0.00	25.00
Taux utilisation des vehicules	0.62	0.53
Recettes du service	1983.03	3901.47
Coût total du service	688.40	1322.44
-dont coût de possession	650.00	791.39
-dont coût de l'énergie	38.40	107.31
-dont coût de conduite	0.00	423.74
Recette par voyageur	3.27	3.32
Coût par voyageur	1.14	1.13

LA DESSERTE DU TECHNOCENTRE ELARGIE A SON VOISINAGE

Comparaison des deux mêmes systèmes

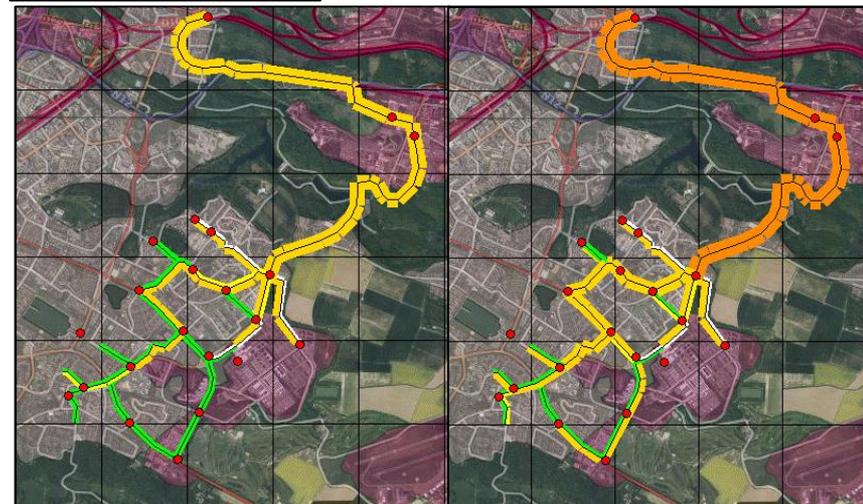
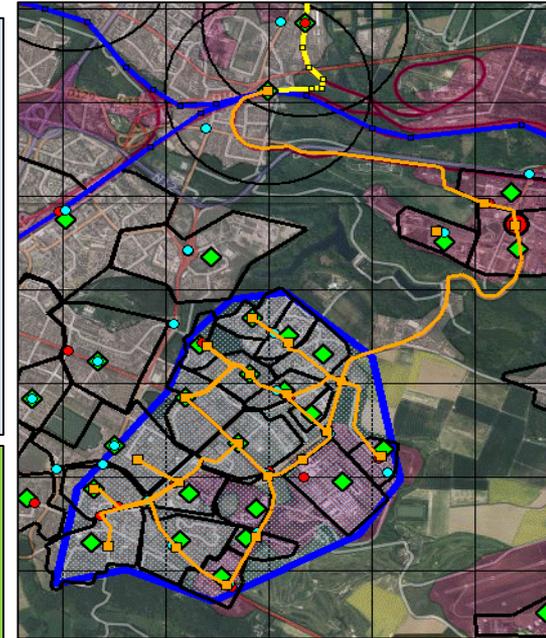
- **SC1** : PRT de 4 places. Vitesse limite 20 km/h en zone urbaine, 30 km/h sur voie rapide.
- **SC2** : **Twizy** 2 places. Conduit par un voyageur, il est plus rapide en zone urbaine (25 km/h), en voirie rapide (40 km/h) et sur site propre (50 km/h).

➤ **Twizy augmente plus ses recettes par voyageur (de 3,32 € à 3,73 €) que le PRT (de 3,27 € à 3,50 €)**

➤ **Mais surtout voit diminuer son coût de revient par voyageur (de 1,13 € à 0,67 €), alors que celui du service PRT augmente (de 1,14 € à 1,50 €).**

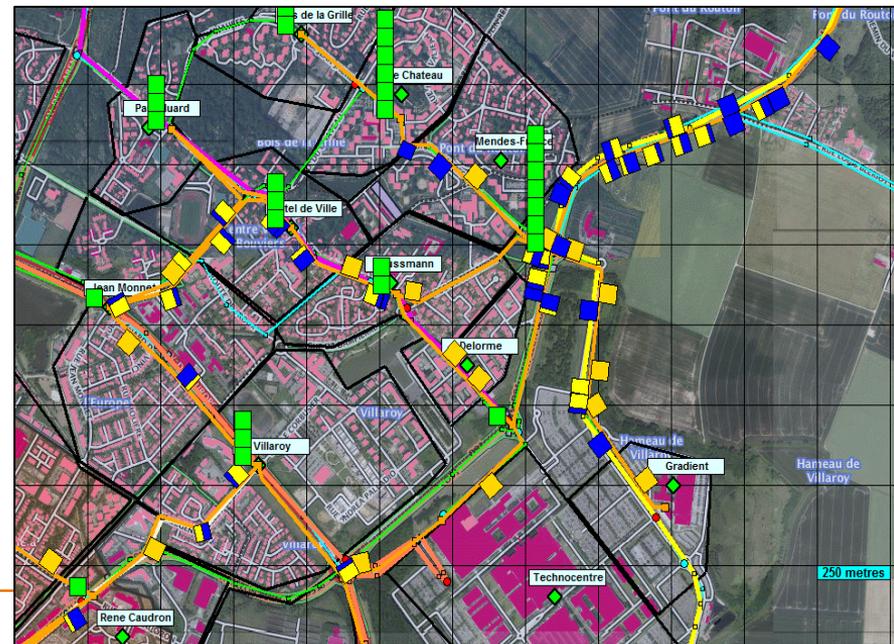
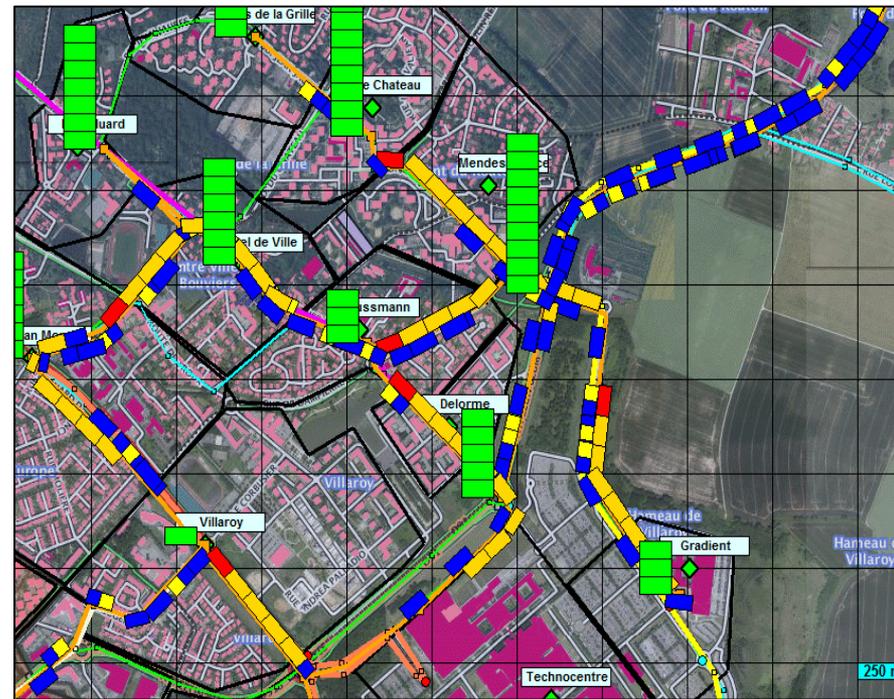
➤ **Nous nous trouvons là, en fait, au cœur des mécanismes de la redistribution.**

Et toujours
deux fois plus
de voyageurs
sur Twizy



Deux explications mises en évidence par le « visualiseur » d'OPTIREL

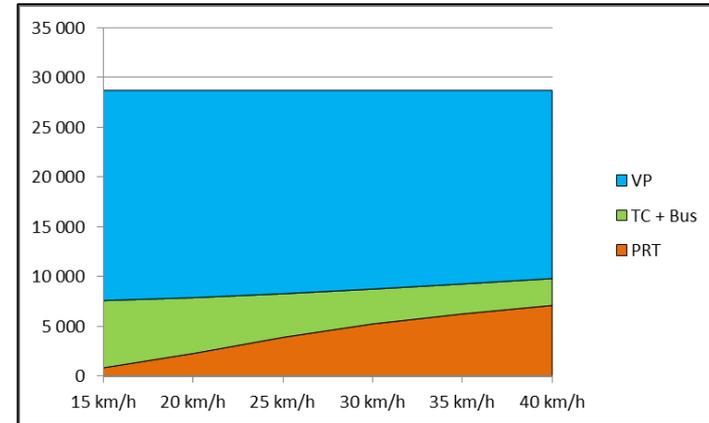
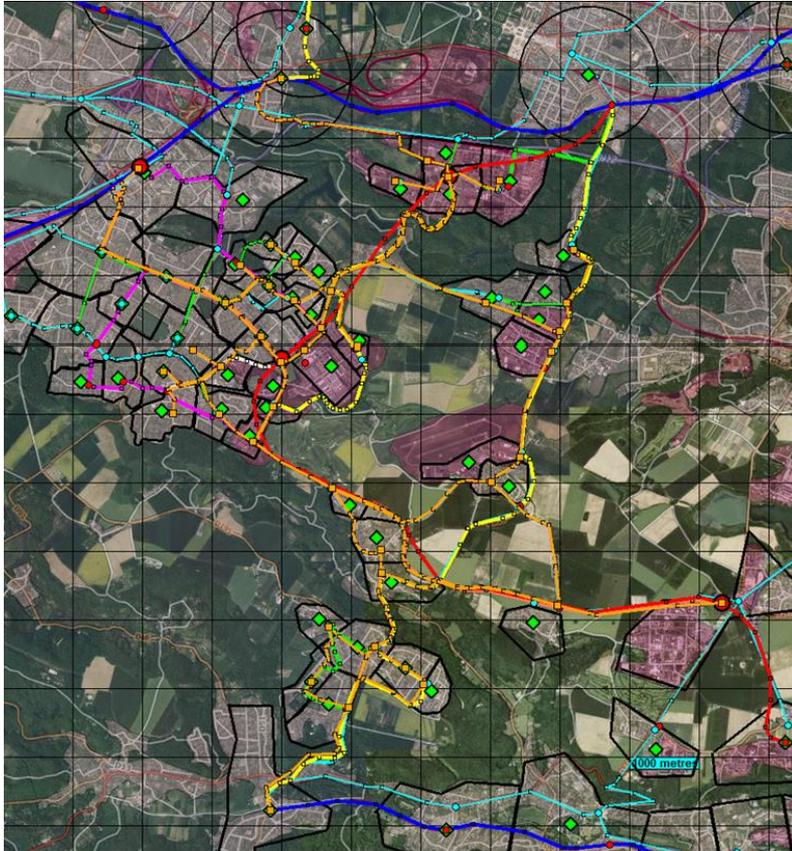
- Pour Twizy, les flux s'équilibrent très bien et il n'y a pas de besoin de redistribution sur l'axe principal
- Les PRT sont insuffisamment remplis dans la zone urbaine
- Pour élargir le service aux zones voisines, il faut augmenter le nombre de PRT de 60 à 178 (+196 %), mais le nombre de Twizy seulement de 259 à 422 (+ 63%).



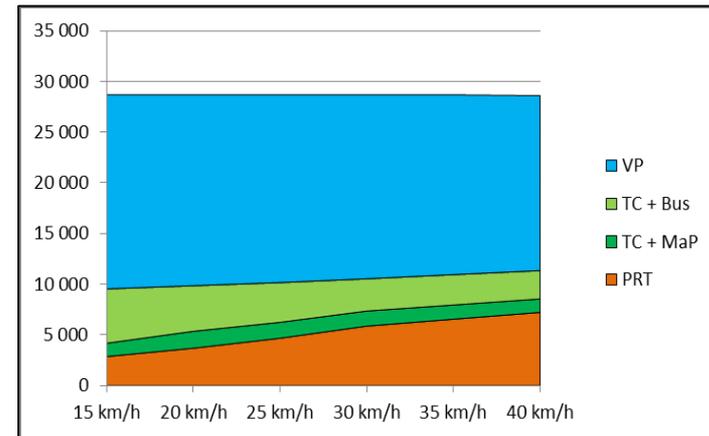
QUE CONCLURE DE L'ETUDE DU CAS DE LA DESSERTE DU TECHNOCENTRE ET DE SES ENVIRONS?

- **L'évaluation des besoins de redistribution est vraiment au cœur du *business model* :** entre un service pas optimisé (les seuls besoins des personnels du Technocentre) et un service optimisé (extension du service aux zones avoisinantes), nous avons l'exemple d'une baisse du coût de revient de 1.29 € à 0.67 € par voyageur
- **Un service rapide, permis par des véhicules conduits par les voyageurs, attire une clientèle bien plus importante qu'un service plus lent de véhicules entièrement automatisés**
- **Le co-voiturage diminue considérablement les besoins de redistribution sur les itinéraires fonctionnant dans les deux sens.**
- **Dans les zones plus diffuses, il est coûteux de mettre en place des véhicules de trop grande capacité. La taille optimale des véhicules semble se situer plus près de 2 que de 4 places.**

LA DESSERTE DE TOUT LE TERRITOIRE SANS ET AVEC LE METRO



SANS



AVEC

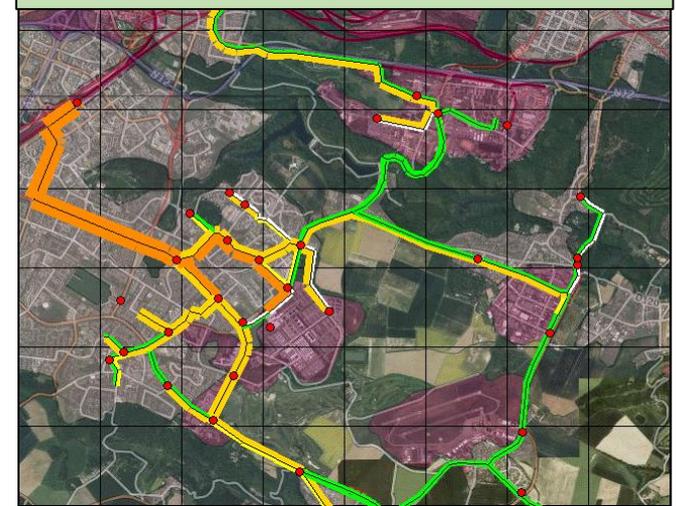
- A basse vitesse, le PRT attire beaucoup plus de voyageurs avec le métro.
- A vitesse élevée, on semble atteindre un même plafond.
- A noter l'apparition de la concurrence de la marche à pied.

Les effets de l'ouverture du métro sur l'économie du PRT

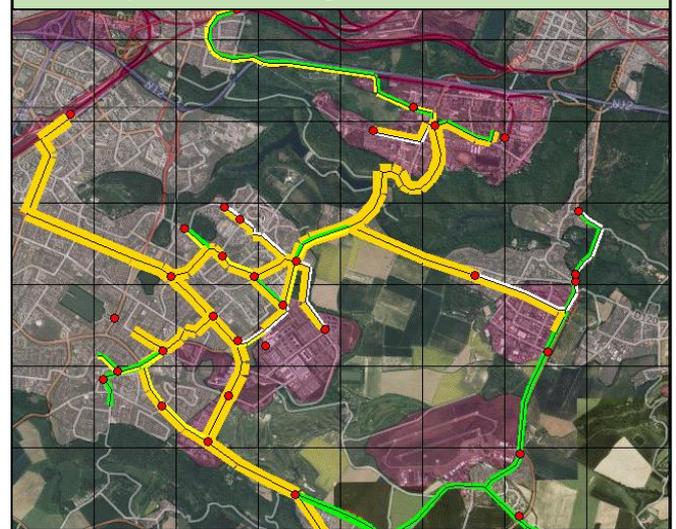
RESULTATS	SC1	SC2
Nombre total de voyageurs	2798	3681
Voyageurs-Kilometres	12894.47	10608.82
Distance moyenne parcourue par voyageur	4.61	2.88
Nombre de vehicules necessaires	338	330
Vehicules-Kilometres	7002.32	6735.88
Distance moyenne parcourue par vehicule	20.72	20.41
Nombre de chauffeurs necessaires	0.00	0.00
Taux utilisation des vehicules	0.55	0.53
Recettes du service	7990.08	7671.52
Cout total du service	3857.73	3763.60
-dont cout de possession	3661.67	3575.00
-dont cout de l energie	196.06	188.60
-dont cout de conduite	0.00	0.00
Recette par voyageur	2.86	2.08
Cout par voyageur	1.38	1.02

- Avec l'ouverture du métro, **le PRT gagne +32% de voyageurs**, qui font alors des trajets beaucoup plus courts .
- La recette et le coût par voyageur baissent, la marge par voyageur aussi, mais **la marge totale ne bouge pas.**

Serpents de charge PRT sans métro



Serpents de charge PRT avec métro



Les impacts des tarifs sur l'économie du PRT

Nous établissons le bilan économique du PRT – recettes-dépenses-marge – avec des tarifs comportant une part forfaitaire et une part proportionnelle au temps.

Tarif horaire	Recettes de l'opérateur PRT selon le niveau et la structure tarifaire												
12 €	7569	7979	7492	7487	7287	7223	6882	6754	6457	6250	6028	5810	5488
10 €	7113	7681	7422	7486	7581	7426	7284	6985	6855	6653	6342	6107	5916
8 €	6383	6991	7224	7361	7567	7653	7670	7345	7148	6913	6721	6494	6154
6 €	5285	6254	6948	7224	7489	7590	7706	7665	7424	7137	6967	6695	6312
4 €	3935	5039	6134	6648	7092	7346	7585	7539	7575	7406	7349	6665	6421
2 €	2200	3579	4709	5421	6298	6872	7156	7431	7478	6973	6457	6438	6034
0	0	1561	2901	4061	4990	5751	6414	6877	6568	6250	5707	5827	5784
Forfait	0.00 €	0.25 €	0.50 €	0.75 €	1.00 €	1.25 €	1.50 €	1.75 €	2.00 €	2.25 €	2.50 €	2.75 €	3.00 €

Tarif horaire	Dépenses de l'opérateur PRT selon le niveau et la structure tarifaire												
12 €	4857	4535	3888	3937	3596	3389	3056	2836	2580	2333	2297	2207	2032
10 €	5319	5098	4465	3984	3882	3608	3540	3169	3088	2789	2511	2301	2217
8 €	5931	5376	4938	4583	4291	4040	3823	3514	3446	3291	2986	2774	2433
6 €	6674	6170	5620	5036	4560	4431	4180	4020	3752	3499	3296	3112	2790
4 €	7262	6772	6333	5745	5318	4699	4312	4355	4056	3855	3674	3416	3064
2 €	7837	7545	7120	6525	5936	5637	5062	4652	4353	4200	3934	3751	3462
0	9517	8722	8051	7515	6925	6558	5762	5352	4857	4395	4131	4060	3716
Forfait	0.00 €	0.25 €	0.50 €	0.75 €	1.00 €	1.25 €	1.50 €	1.75 €	2.00 €	2.25 €	2.50 €	2.75 €	3.00 €

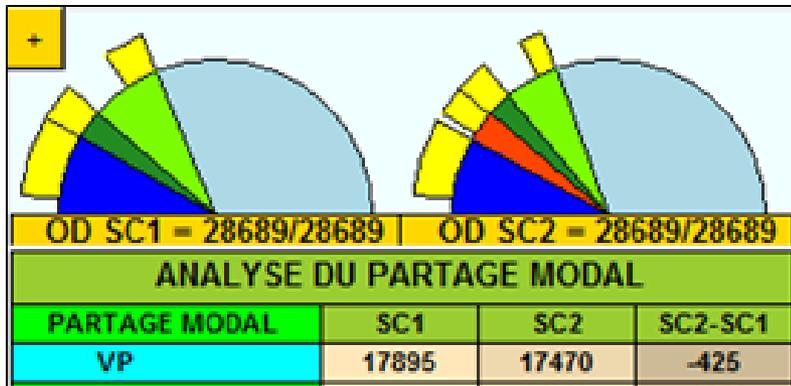
Tarif horaire	Marges de l'opérateur PRT selon le niveau et la structure tarifaire												
12 €	2712	3444	3604	3550	3691	3834	3826	3918	3877	3917	3731	3603	3456
10 €	1794	2583	2957	3502	3699	3818	3744	3816	3767	3864	3831	3806	3699
8 €	452	1615	2286	2778	3376	3613	3847	3831	3702	3622	3735	3720	3721
6 €	-1389	84	1328	2188	2929	3159	3526	3645	3372	3638	3671	3583	3522
4 €	-3327	-1733	-199	903	1774	2647	3273	3184	3519	3551	3675	3249	3357
2 €	-5637	-3966	-2411	-1104	362	1235	2094	2779	3125	2773	2523	2687	2572
0	-9517	-7161	-5150	-3454	-1935	-807	652	1525	1711	1855	1576	1767	2068
Forfait	0.00 €	0.25 €	0.50 €	0.75 €	1.00 €	1.25 €	1.50 €	1.75 €	2.00 €	2.25 €	2.50 €	2.75 €	3.00 €

- Une tarification purement forfaitaire nous prive de la rentabilité des parcours longs
- Une tarification purement proportionnelle au temps surcharge le système de nombreux petits trajets, coûteux, peu rentables, et réalisables en marche à pied
- Des tarifs raisonnables assurent une bonne rentabilité. Il faut rechercher la combinaison tarifaire qui oriente le plus de voyageurs vers les solutions optimales.

Les effets de l'ouverture de parkings-relais (P+R)

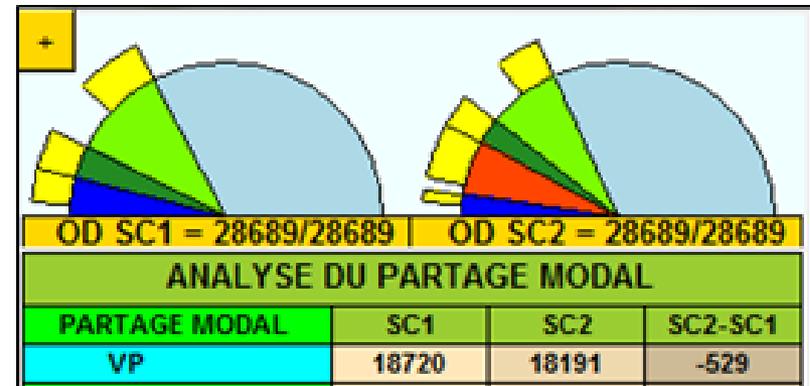
Tarif P+R de 1 €/jour

Avant
Après
Ouverture du PRT



Tarif P+R de 10 €/jour

Avant
Après
Ouverture du PRT



PRT et P+R : forte concurrence/complémentarité

L'ouverture du métro avait permis un transfert modal de 2047 automobilistes vers les TC. **Combinés, les deux systèmes de rabattement PRT + P+R peuvent réaliser un transfert modal supplémentaire de 2 165 voyageurs.**

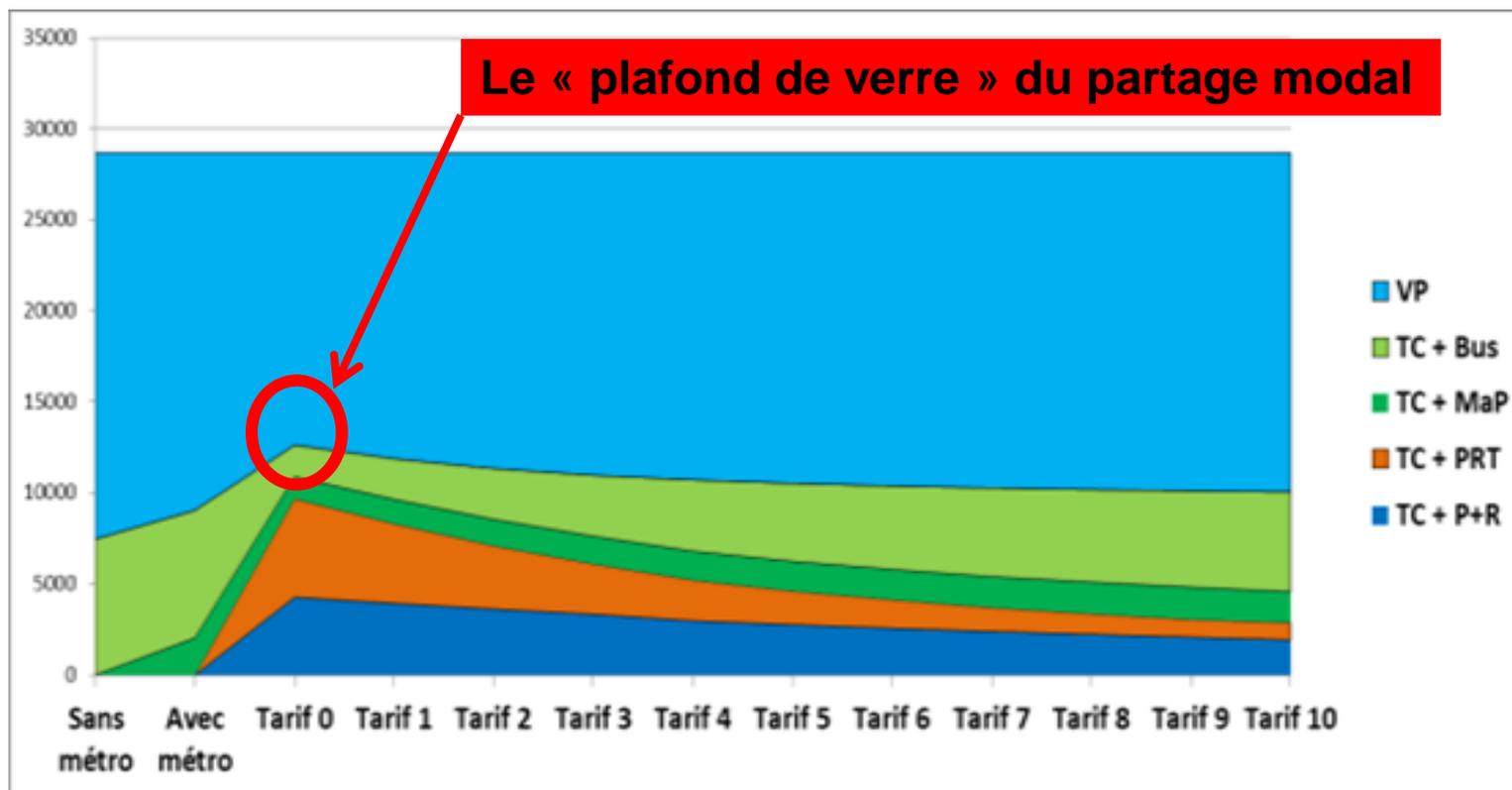
L'opérateur de parking a tout intérêt à pratiquer un tarif élevé !

STATION/SCENARIO	PLACES DE PARKING P+R			
	1 € sans PRT	1 € avec PRT	10 € sans PRT	10 € avec PRT
Gare SQY	385	305	187	19
Satory-C	57	42	3	1
Metro GPE	3369	2984	1326	421
CEA-St-Aubin	85	86	17	14
TOTAL	3895	3416	1534	456
Recette/jour des P+R	3895	3416	15340	4558

LE BILAN GLOBAL ET LA RECHERCHE DE L'OPTIMUM (1/2)

Nous comparons successivement la situation sans PRT ni P+R avant, puis après, l'ouverture du métro, puis, après cette ouverture : gratuité totale des PRT et P+R, puis augmentation des tarifs par pas de 1€ pour les P+R, de 0,2 € pour le forfait PRT et de 0,1 € pour le km de PRT.

Le graphique ci-dessous montre l'évolution du partage modal



LE BILAN GLOBAL ET LA RECHERCHE DE L'OPTIMUM (2/2)

OPTIREL permet de réaliser un tableau qui donne le bilan économique de toutes les parties prenantes, et d'identifier ainsi les « gagnants » et les « perdants » selon les hypothèses.

Le meilleur compromis se trouve au niveau du tarif 5, fin de la zone optimale pour les voyageurs et début de la zone optimale pour les opérateurs

BILAN ECONOMIQUE GENERAL

Tarif P+R	Sans métro,	Avec métro,	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Forfait PRT	sans P+R	sans P+R	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2
PRT tarif au km			0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
BUDGET VOYAGEURS (K€/mois)	2727	2424	2126	2379	2542	2641	2681	2723	2750	2763	2772	2773	2778
BUDGET TEMPS (1000H/mois)	734	694	664	660	658	658	661	661	663	665	666	668	670
Bilan des opérateurs TC	-190	-272	-201	-203	-223	-226	-236	-239	-254	-257	-258	-258	-258
Bilan des opérateurs PRT	0	0	-343	-154	-38	32	55	76	85	88	91	90	100
Bilan des opérateurs Parkings	0	0	-155	-79	-14	40	80	115	142	164	180	190	195
BILAN GENERAL OPERATEURS	-190	-272	-699	-437	-276	-154	-100	-48	-27	-5	13	22	31
Recettes SNCF Transilien	393	454	595	575	560	549	538	531	525	519	515	511	508
TICPE	371	314	259	271	280	287	290	294	296	298	300	301	303
Contribution des employeurs	261	317	402	390	380	375	369	365	361	358	355	353	351

Quelques remarques conclusives

- C'est un travail qui commence, il est encore trop tôt pour en tirer des conclusions définitives. **Il faut multiplier les études de cas.**
- Il faut en particulier (OPTIREL peut le faire) **élargir la panoplie des services** (du véhicule semi-automatisé au véhicule totalement automatisé) et **des options tarifaires**
- Nous nous sommes concentrés ici sur les trajets domicile travail, à la pointe du matin. Il reste **à explorer l'ensemble des motifs, et surtout les services en heure creuse.**
- Et dans tous les cas, il reste à explorer les possibilités de **restructurer en profondeur les réseaux de transport public** pour assurer la meilleure mise en synergie de l'ensemble des services de mobilité.

MERCI DE VOTRE ATTENTION

guybourgeois69@gmail.com