

Edition	Date	Objet de l'édition / révision
1	7/01/2004	Création du document
2	14/01/2004	Ajout suite à la réunion du 08/01/2004 avec RFF
3	30/09/2004	Mise à jour du rapport
4	04/11/2004	Mise à jour du rapport

Edition : 4	Nom	Date	Visa
Auteur :	R. Gras		
	H. Saisset		

LA LGV PACA, UNE OPPORTUNITE POUR DEVELOPPER LE TRANSPORT REGIONAL EN TRAIN HYPOTHESES ET METHODOLOGIE

SOMMAIRE

SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION.....	3
2.	L'ELABORATION DES SCENARIOS DE DESSERTE.....	4
2.1	LA CONSTRUCTION DES SCENARIOS DE DESSERTE : UN FOND, UNE FORME !.....	5
2.2	L'IDENTIFICATION DES BESOINS DE DEPLACEMENT	6
2.3	LES INFRASTRUCTURES : "CENTRES DE GRAVITE" ET CONTRAINTES POUR L'ELABORATION DES SCENARIOS	6
2.4	LES PRINCIPES D'ORGANISATION DES SERVICES.....	7
2.5	L'OPTIMISATION DES SCENARIOS	7
3.	LA DESSERTE FERROVIAIRE DANS L'AIRE D'ETUDE EN 2020.....	8
3.1	DESSERTE REGIONALE ORGANISEE PAR LA REGION PACA.....	8
3.2	CONTRIBUTION DES TRAINS GRANDES LIGNES A LA DESSERTE REGIONALE.....	9
3.3	L'OFFRE TOTALE EN 2020	10
3.4	INTERVENTION SUR L'OFFRE DE REFERENCE 2020 POUR LA MODELISATION DES DESSERTES REGIONALES A GRANDE VITESSE.....	11
4.	HYPOTHESES D'EVOLUTION DE LA POPULATION EN 2020	12
4.1	LE MODELE OMPHALE DE L'INSEE.....	12
4.2	LES PROJECTIONS EN 2020.....	12
4.3	DEUX SCENARIOS D'EVOLUTION EN REGION PACA.....	13
4.4	LES EVOLUTIONS EN LANGUEDOC-ROUSSILLON.....	13
5.	ORGANISATION DE LA CHAINE DE MODELISATION.....	14
5.1	L'AIRE D'ETUDE ET LE ZONAGE	15
5.2	MODELISATION DES RESEAUX DE TRANSPORT	16
5.3	RECONSTITUTION DE LA DEMANDE ACTUELLE.....	17
5.4	PREVISION DE TRAFICS FUTURS.....	18

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 :	Principes d'organisation des services	7
Figure 2 :	La desserte TGV à l'intérieur de la région en 2020	9
Figure 3 :	Comparaison des offres en situation de référence 2002 et 2020	10
Figure 4 :	Hypothèses de desserte à longue distance selon les scénarios	11
Figure 5 :	Evolution de la population dans l'aire d'étude	12
Figure 6 :	Hypothèses d'évolution de la population	13
Figure 7 :	Processus de modélisation	14
Figure 8 :	Aire d'étude et zonage	15
Figure 9 :	Réseau de transport modélisé	16
Figure 10 :	Chaîne de modélisation	19
Figure 11 :	Principes du modèle de rabattement	20

1. INTRODUCTION

L'objectif du présent rapport est d'expliciter les différentes méthodes et hypothèses utilisées pour conduire l'étude des dessertes régionales à grande vitesse susceptibles d'être mises en place à l'occasion de la construction d'une ligne à grande vitesse entre la LGV Méditerranée et Nice.

On y trouvera donc dans un premier temps les principes qui ont prévalu à l'élaboration et à la définition des scénarios d'offre ferroviaire à grande vitesse.

Les deux chapitres suivants présentent les hypothèses utilisées dans cette étude, d'abord en termes d'offre ferroviaire de référence, puis en termes d'évolution de la population.

Le dernier chapitre présente la chaîne de modélisation mise en œuvre dans cette étude pour tester et comparer ces scénarios de desserte.

2. L'ELABORATION DES SCENARIOS DE DESSERTE

La construction de scénarios de desserte est la recherche, souvent itérative, d'un compromis entre des intérêts divergents. Elle s'appuie sur :

- **Un ou plusieurs objectifs de desserte** : relier les pôles principaux, offrir un accès avec un minimum de correspondances aux pôles, désenclaver l'arrière pays, limiter les coûts d'exploitation...
- **Une demande à satisfaire** : les segments de clientèle sont de volumes différents et plus ou moins faciles à capter.
- **Des scénarios d'infrastructure** : on a ici trois scénarios fonctionnels qui se déclinent chacun en plusieurs itinéraires (de un à sept).
- **Des principes d'organisation des services.**

Pour chaque option de tracé de la nouvelle infrastructure (tracé littoral, moyen pays et arrière pays) et pour chaque variante, **plusieurs types de desserte ont été envisagés** répondant à des objectifs et des champs d'action différents :

- Des dessertes étoffées desservant d'éventuelles gares nouvelles (O1),
- Des dessertes optimisant leur rentabilité entre Montpellier et Nice (O2),
- Des dessertes limitées à l'Est de Marseille, minimisant les investissements en matériel (O4),
- Des dessertes limitées à l'Est de Marseille optimisant leur rentabilité (O5).

2. L'ELABORATION DES SCENARIOS DE DESSERTE

2.1 La construction des scénarios de desserte : un fond, une forme !

Le fond : c'est répondre aux besoins de déplacements.

La forme : c'est trouver le meilleur compromis entre différentes options et problématiques dont les réponses peuvent entrer en contradiction :

- **Quelle construction des dessertes autour des entités urbaines majeures ?** Liaisons d'entités majeures à entités majeures, liaisons entre plusieurs pôles majeurs, liaisons d'entités secondaires à entités majeures, desserte de zones considérées comme possible centre de gravité pour le développement futur de l'arrière pays ? La démarche d'élaboration des scénarios a examiné les différentes combinaisons possibles.
- **Quelle densité de gares ?** L'étendue des grands pôles urbains, comme Marseille, Toulon ou Nice, pose la question de la captation et de la distribution des voyageurs sur les aires urbaines. En fonction de la configuration des sites urbains, plusieurs combinaisons peuvent être proposées : une seule gare centrale ou implantation de plusieurs points d'arrêt (au centre et en périphérie) pour mieux distribuer les voyageurs sur l'aire urbaine. Le choix de l'entrée dans l'agglomération a donc une importance déterminante pour répondre à cette problématique.
- **Quel "rayon d'action" pour les TER GV ?** Il a été défini en cohérence avec les spécificités géographiques de la région et l'agencement des pôles urbains. L'analyse des gains de temps a permis de définir le rayon d'action minimum.
- **Quelle offre ?** L'offre doit répondre à la demande de transport mais elle peut être organisée de diverses manières et doit être compatible avec la capacité des infrastructures, notamment en entrée d'agglomération : cadencement, offre ajustée pour des pointes relativement bien identifiées...

2. L'ELABORATION DES SCENARIOS DE DESSERTE

2.2 L'identification des besoins de déplacement

L'élaboration des scénarios dans un premier temps sur les éléments du diagnostic : notamment sur la distribution des pôles urbains, sur la demande de déplacement entre ces pôles et sur l'évolution future de la région (la région en 2020). Elle prend aussi en compte les éléments techniques qui sont la création de la ligne grande vitesse et l'organisation des barreaux de connexion aux entités urbaines. Il est bon de souligner qu'un des points central de l'étape diagnostic a été **d'identifier et de quantifier les grands corridors de déplacements**.

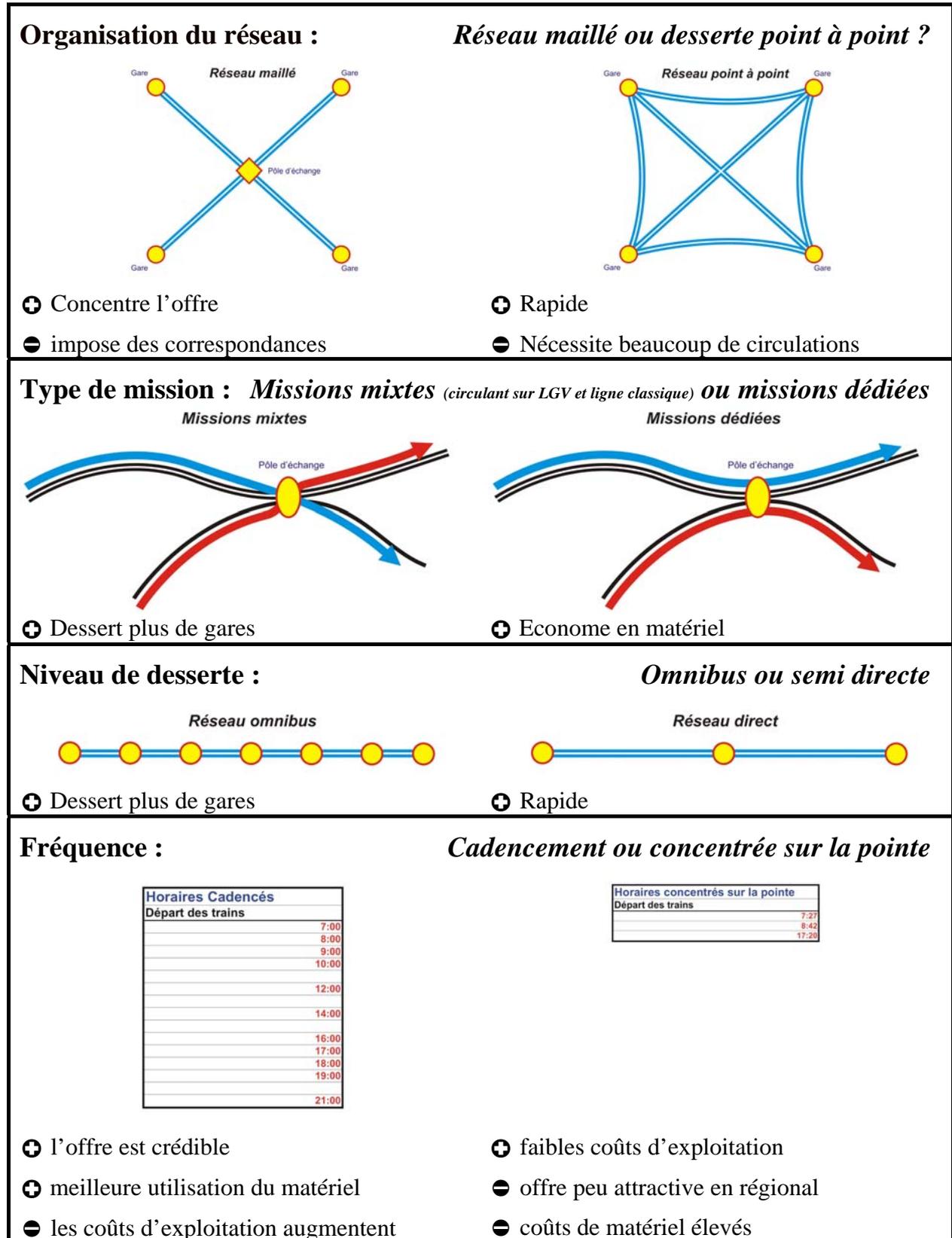
Les données de mobilité et les matrices qui en ont résulté, permettent d'établir et de bien comprendre **la structure des déplacements**. A partir des flux prédominants, mis en évidence par la construction de **lignes de désir**, on a identifié les besoins de desserte.

Les volumes de passagers sur les corridors de desserte retenus ont permis d'établir un niveau préliminaire d'offre. Celui-ci a été affiné en fonction des résultats de la modélisation et de la capacité des infrastructures.

2.3 Les infrastructures : "centres de gravité" et contraintes pour l'élaboration des scénarios

La LGV, qui pourra avoir un tracé essentiellement rural, plus ou moins éloigné des zones agglomérées, devra être reliée à ces dernières par des barreaux ferroviaires. Le projet de LGV intégrera les liaisons nécessaires aux dessertes classiques de la grande vitesse et quelques lignes existantes pourront parfois jouer ce rôle de connexion.

Figure 1 : Principes d'organisation des services



2. L'ELABORATION DES SCENARIOS DE DESSERTE

2.4 Les principes d'organisation des services

Les principes d'organisation des services (voir tableau ci-contre) peuvent se décliner en termes :

- *d'organisation des réseaux* : un réseau maillé offre plus de possibilités mais impose des correspondances, des liaisons directes sont plus rapides mais desservent moins de gares,
- *de types de missions* : des missions dédiées à la LGV ou à la ligne classique permettent de limiter les coûts de matériel mais imposent des correspondances
- *de niveau de desserte* : les missions omnibus permettent une desserte fine des gares mais ont des temps de parcours moins intéressants : **un arrêt sur la LGV « coûte » 8 minutes,**
- *de fréquence* : la mise en place d'une offre cadencée (au minimum un train par heure) peut sembler pléthorique dans certains cas, mais le fait de restreindre la desserte aux heures de pointe en limite considérablement l'intérêt.

2.5 L'optimisation des scénarios

Plusieurs critères ont été utilisés pour l'optimisation des scénarios. La liste présentée ci-dessous est indicative :

- Maximiser la fréquentation des services intercités à grande vitesse ;
- Minimiser les temps de parcours ;
- Minimiser les coûts d'exploitation ;
- Maximiser le taux moyen de remplissage des trains.

Les mesures d'optimisation des scénarios ont donné lieu à de nouveaux tests d'évaluation du trafic.

3. LA DESSERTE FERROVIAIRE DANS L'AIRE D'ETUDE EN 2020

Le test et l'évaluation de services régionaux rapides nécessitent de prendre en compte l'ensemble des trains circulant dans l'aire d'étude qui assurent des services **concurrents** (la liaison entre Marseille et Toulon peut être assurée, par des TER Omnibus ou Semi-directs, par des TGV Paris Marseille Toulon ou par des intercités à grande vitesse Marseille Toulon Nice) ou **complémentaires** (les services de TER Omnibus permettent de « rabattre » les voyageurs vers les gares desservies par les services à grande vitesse).

Nous nous sommes donc livrés à un travail de recueil et de consolidation des services ferroviaires envisagés par les deux autorités organisatrices compétentes :

- La région PACA pour les services régionaux (des trains périurbains aux trains intercités),
- La SNCF pour les services Grandes Lignes entre la région et le reste de la France.

Dans les deux cas, nous ne nous sommes intéressés qu'aux trains susceptibles de transporter les voyageurs à l'intérieur de la région.

3.1 Desserte régionale organisée par la Région PACA

L'offre TER est très fortement augmentée à l'horizon 2020. Par rapport à la situation actuelle, le nombre de trains omnibus triple et le nombre de trains semi-directs est multiplié par sept. Pour les **principales liaisons**, l'offre journalière projetée est la suivante :

- **Axe Marseille - Nice**
 - Marseille – Toulon : 120 trains semi-directs,
 - Marseille – Aubagne : 120 trains omnibus + 120 directs,
 - Cannes – Nice : 120 trains omnibus + 60 semi-directs,
 - Nice – Vintimille : 60 trains omnibus + 60 semi-directs,
 - Marseille – Nice – Vintimille : 30 InterCités.
- **Axe Marseille – Manosque**
 - Marseille – Aix en Provence : 175 trains omnibus + 15 semi-directs,
 - Marseille – Manosque : 15 trains omnibus + 15 semi directs.
- **Axes Marseille – Avignon – Valence**
 - Marseille – Miramas : 19 trains omnibus + 80 semi-directs par le nord de l'étang de Berre; 120 trains semi-direct par le sud,
 - Marseille – Avignon : 39 semi-directs,
 - Marseille – Valence : 21 intercités.

3. LA DESSERTE FERROVIAIRE DANS L'AIRE D'ETUDE EN 2020

3.2 Contribution des trains grandes lignes à la desserte régionale

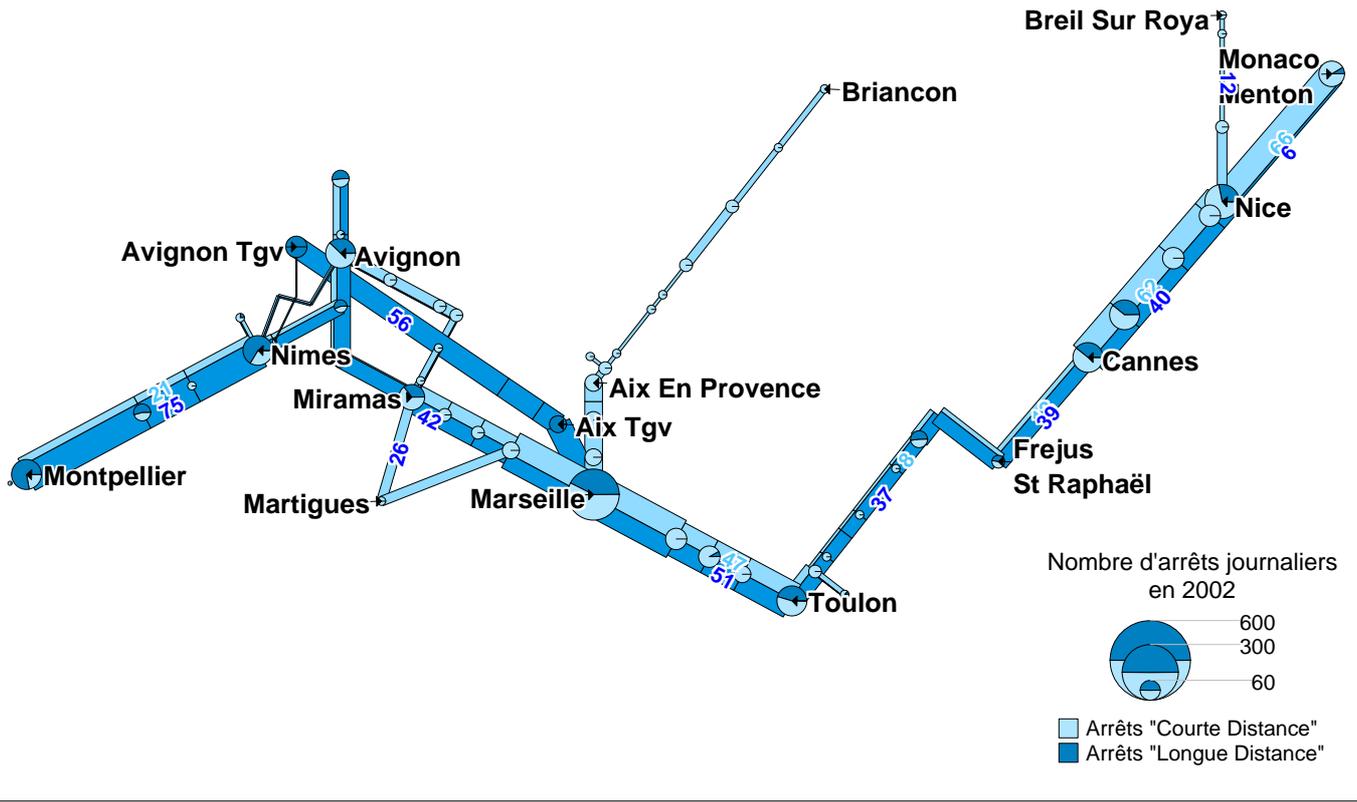
L'offre Trains à Grande Vitesse Par rapport à la situation 2002, l'offre TGV augmente notablement en référence 2020. Un total de 59 TGV AR/jour desservira les gares comprises entre Marseille et Nice contre 38 actuellement. Pour les **principales gares** de la région PACA, le nombre de dessertes est le suivant :

- 43 TGV A/R desserviront Avignon,
- 51 TGV A/R desserviront Marseille,
- 32 TGV A/R desserviront Toulon,
- 23 TGV A/R desserviront Nice.

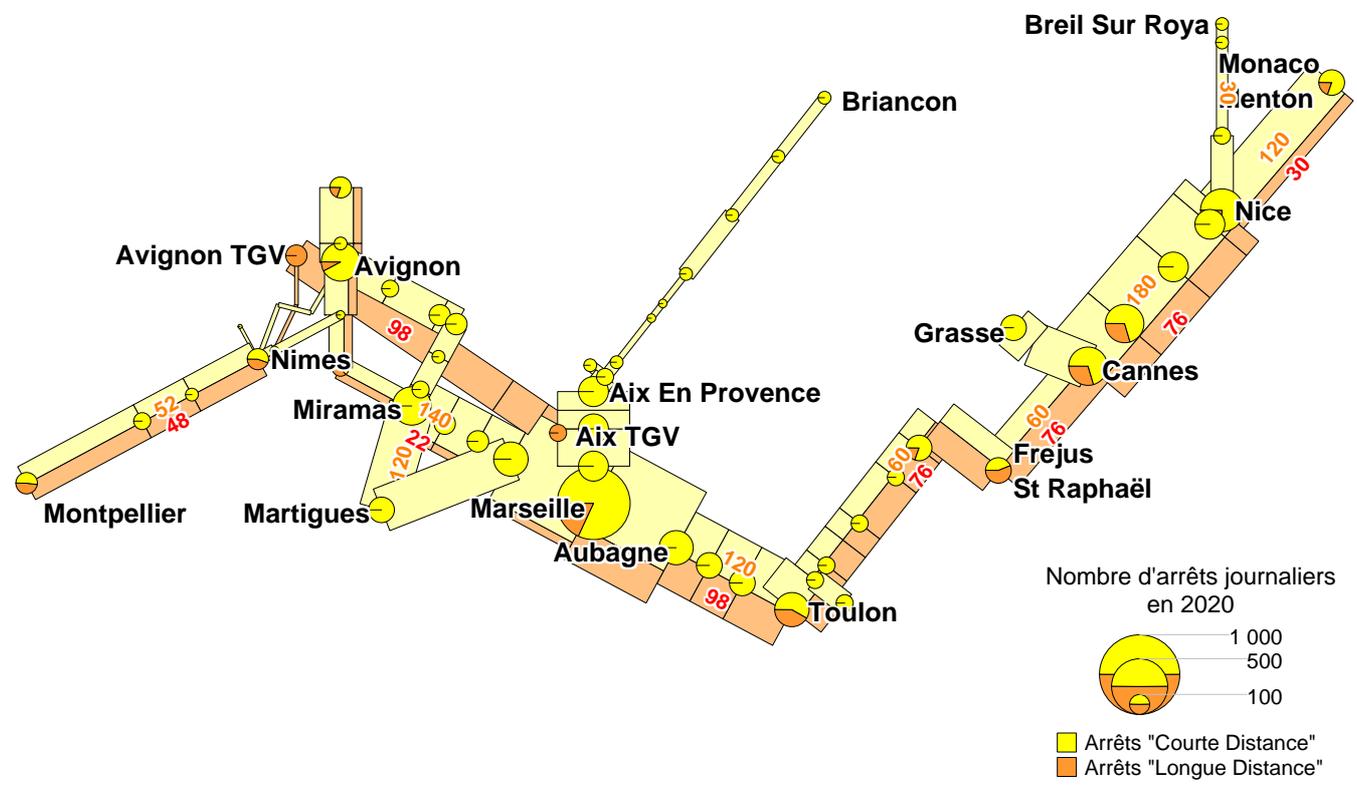
L'offre Grandes Lignes. Elle est inexistante à l'horizon 2020. Les trains Corail circulant sur l'arc Méditerranéen (Bordeaux – Nice) sont remplacés par des TGV empruntant les nouveaux segments de LGV entre Bordeaux et Toulouse et Nîmes et Montpellier ou par des trains TER intercités organisés par la Région. Le scénario de référence 2020 ne compte donc, aucun train GL.

La figure ci-contre récapitule l'ensemble des TGV considérés et présente leur desserte à l'intérieur de l'aire d'étude en 2020.

Nombre de trains en référence 2002
"Trains Courte et Longue Distance"



Nombre de trains en référence 2020
"Trains Courte et Longue Distance"



3. LA DESSERTE FERROVIAIRE DANS L'AIRE D'ETUDE EN 2020

3.3 L'offre totale en 2020

La figure ci-contre permet de comparer l'offre de référence en 2020 avec la desserte actuelle (2002). Les trains figurant dans des couleurs foncées sont les trains à longue distance (trains Corails, TGV ou trains intercités), les couleurs claires représentant les trains à courte et moyenne distance.

On constate donc que **le nombre de trains à courte et moyenne distance**, susceptibles de rabattre les voyageurs sur les services intercités **triple** (de 62 à 180 allers ou retours entre Cannes et Nice et de 47 à 120 passages entre Marseille et Toulon).

Mais que **les services à longue distance**, susceptibles d'être remplacés par des intercités à grande vitesse **double** lui aussi sur le littoral (de 51 à 98 passages par jour entre Marseille et Toulon et de 37 à 76 passages entre Toulon et Nice).

Par ailleurs, on notera que sur **les sections où les deux types de dessertes sont en concurrence** : Marseille – Toulon ou Cannes – Antibes – Nice, **au moins un tiers des liaisons est assuré par des trains longue distance**. Même si on fait abstraction du fait que ces trains sont en outre plus rapides, on peut donc supposer qu'au moins un tiers des voyageurs est susceptible de les emprunter...

Nombre de circulations par jour	Cannes Nice		Marseille Toulon	
	2002	2020	2002	2020
Courte Distance	62	180	47	120
Longue Distance	40	76	51	98
Total	102	256	98	218
% des trains Courte Distance	61%	70%	48%	55%
% des trains Longue Distance	39%	30%	52%	45%

Figure 4 : Hypothèses de desserte à longue distance selon les scénarios

Desserte des trains Grandes Lignes dans la région PACA (en AR par jour)									Référence 2020	Scénarios		
	Paris	Jonction	Montpellier	Avignon	Aix	Marseille	Toulon	Nice		Montpellier Nice	à l'Est de Marseille	
TGV Parisiens Avignon Marseille Avignon Marseille Toulon Avignon Toulon Nice Aix Nice	•			•	•	•				10		19
TGV Jonction Avignon Aix Marseille Marseille Toulon Aix Marseille Toulon Nice Avignon Aix Marseille Toulon Nice		•		•	•	•				11	19	19
TGV Arc Méditerranéen Avignon Aix Marseille Avignon Aix Marseille Toulon Nice				•	•	•	•			4		5
TER Intercités Marseille Toulon Nice							•	•	•	15	selon les cas	selon les cas

3. LA DESSERTE FERROVIAIRE DANS L'AIRE D'ETUDE EN 2020

3.4 Intervention sur l'offre de référence 2020 pour la modélisation des dessertes régionales à grande vitesse

Les dessertes régionales à grande vitesse proposées dans le cadre de cette étude peuvent entrer en concurrence directe avec certains services de l'offre référence 2020, les services « longue distance ». Il est donc légitime **de procéder à des "harmonisations d'offre"** pour arriver à définir l'attractivité réelle des futurs services régionaux à grande vitesse.

Les modifications d'offre prise en compte sont donc les suivantes :

- Les TGV offrant une possibilité de desserte locale sont supprimés ou arrêtés à Marseille. L'objectif étant d'évaluer comment la **demande régionale** est captée par les services régionaux à grande vitesse.
- Dans le cas des scénarios "**d'offre mixte**", les IC classiques circulant entre Marseille, Nice et Vintimille sont supprimés.

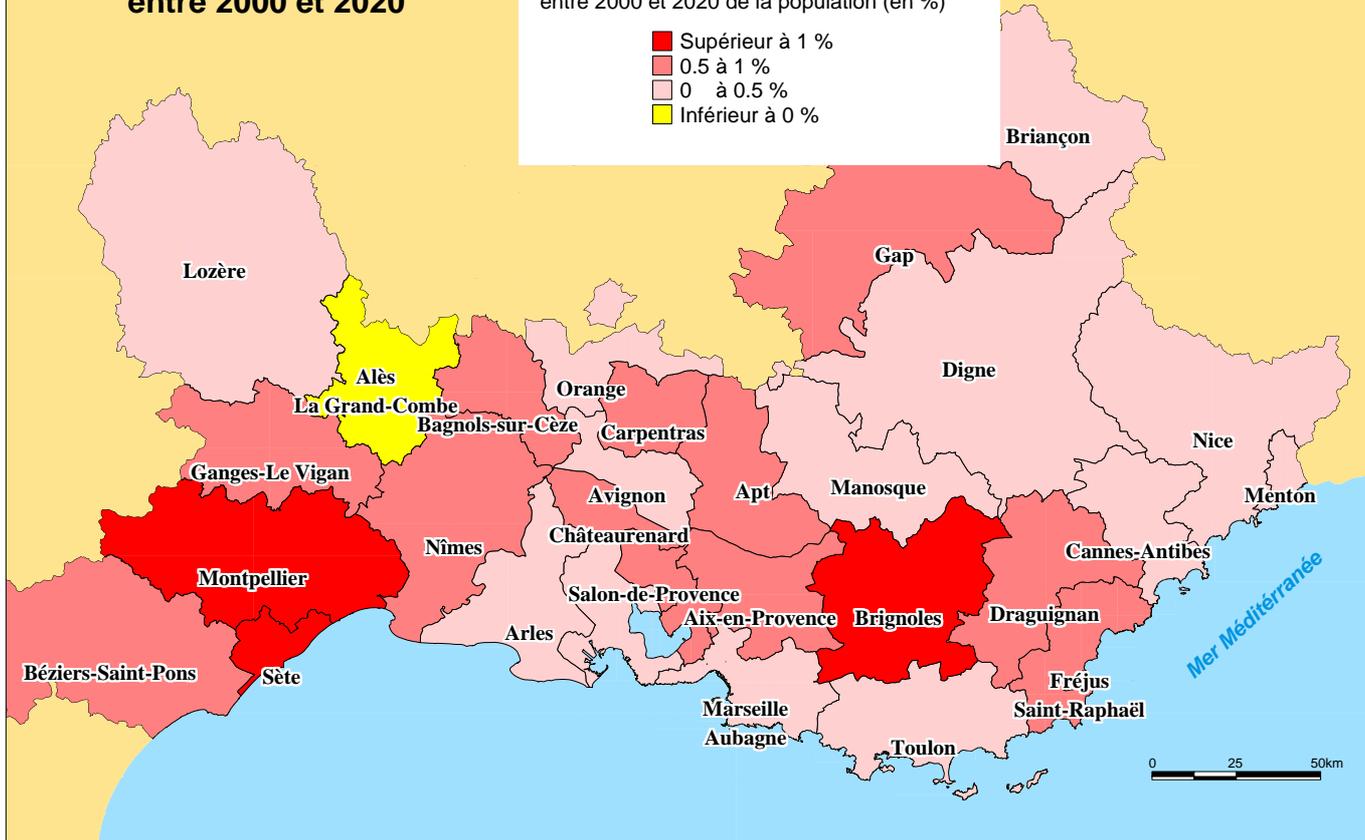
Le tableau ci-contre présente le résultat de cette harmonisation de l'offre sur la desserte à longue distance. On y distingue deux cas :

- le cas où les services testés portent sur l'ensemble de l'arc méditerranéen (de Montpellier à Nice),
- le cas où cette desserte se limite à l'Est de Marseille.

Taux d'évolution de la population entre 2000 et 2020

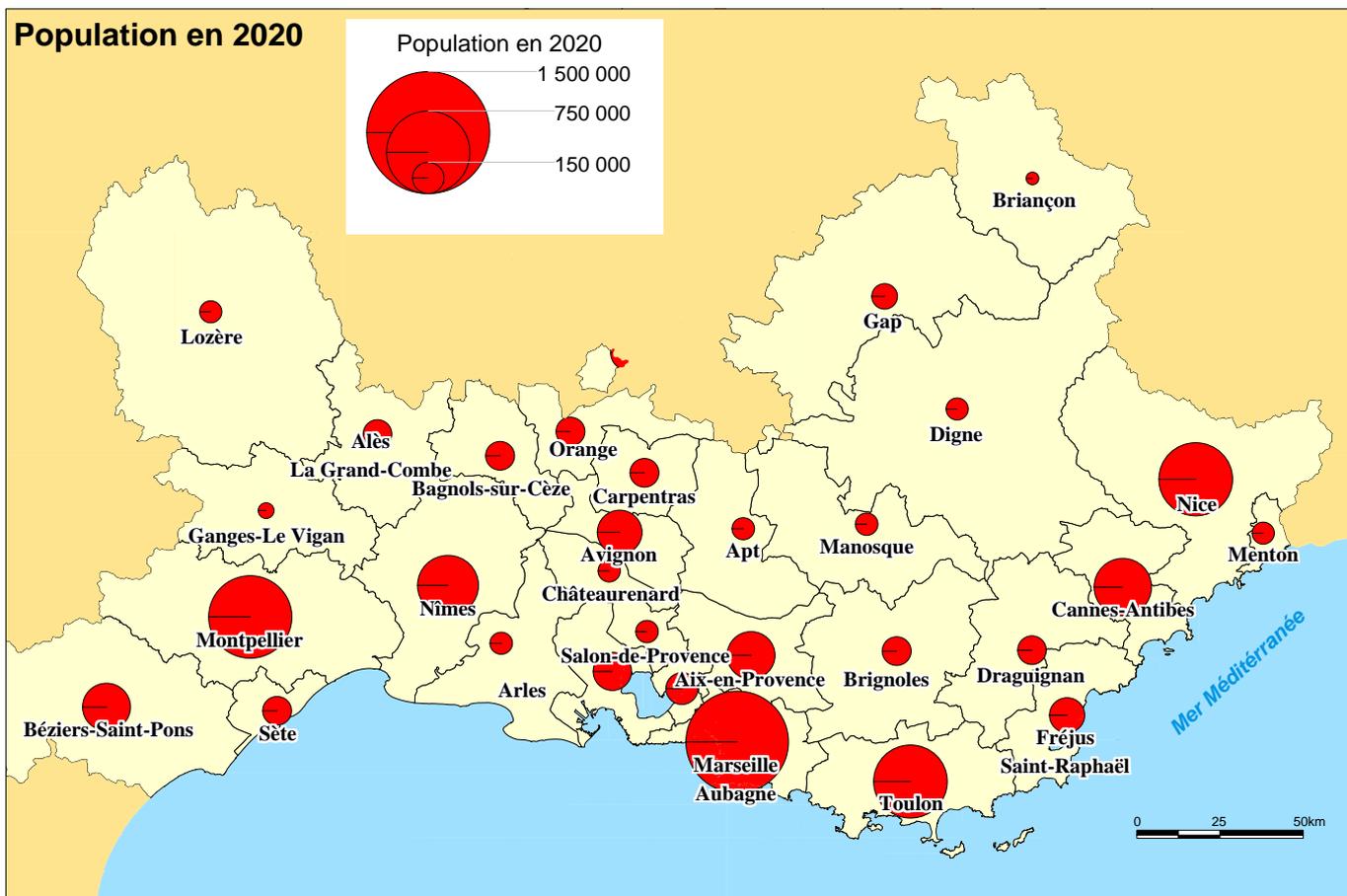
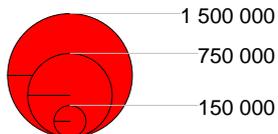
Taux d'évolution annuel entre 2000 et 2020 de la population (en %)

- Supérieur à 1 %
- 0.5 à 1 %
- 0 à 0.5 %
- Inférieur à 0 %



Population en 2020

Population en 2020



4. HYPOTHESES D'EVOLUTION DE LA POPULATION EN 2020

4.1 Le modèle OMPHALE de l'INSEE

Les projections démographiques présentées dans ce chapitre ont été calculées par l'INSEE à l'aide du modèle Omphale. Ces projections sont obtenues en faisant évoluer la population d'une zone en fonction :

- des naissances,
- des décès,
- du solde migratoire (entrées moins sorties de la zone étudiée).

Le modèle part de la répartition par sexe et âge de la population recensée en 1999.

4.2 Les projections en 2020

Les estimations des populations en 2020 sur l'ensemble de l'aire d'étude ont été obtenues à partir des projections de l'INSEE en 2030 (voir pages suivantes) en appliquant le taux de croissance annuel de la population sur une durée de 20 ans.

La planche ci-contre présente ces taux d'évolution annuels selon le scénario d'évolution retenu en région PACA.

Figure 6 : Hypothèses d'évolution de la population

Zones d'emploi Départements	Population 1999 INSEE	Projection population 2030		Estimation Population 2020		Taux d'évolution annuel en %	
		scénario baisse des migrations	scénario tendanciel rééquilibré	scénario baisse des migrations	scénario tendanciel rééquilibré	scénario baisse des migrations	scénario tendanciel rééquilibré
Manosque	64 765	67 410	70 850	66 349	68 624	0.13%	0.29%
Digne	74 989	79 150	82 500	77 781	79 996	0.17%	0.31%
Alpes-de-Haute-	139 754	146 560	153 350	144 130	148 620	0.15%	0.30%
Briançon	32 220	34 390	34 760	33 574	33 818	0.21%	0.25%
Gap	89 417	99 480	105 350	95 985	99 786	0.34%	0.53%
Hautes-Alpes	121 637	133 870	140 110	129 559	133 604	0.31%	0.46%
Cannes-Antibes	365 376	392 880	418 140	383 539	400 075	0.23%	0.44%
Menton	71 654	68 190	74 640	69 258	73 631	-0.16%	0.13%
Nice	575 413	596 850	626 960	588 981	608 949	0.12%	0.28%
Alpes-Maritime	1 012 443	1 057 920	1 119 740	1 041 777	1 082 654	0.14%	0.33%
Arles	76 825	80 740	81 970	79 528	80 347	0.16%	0.21%
Aix-en-Provence	258 986	309 410	329 890	292 106	305 068	0.58%	0.78%
Etang-de-Berre	133 015	154 450	155 780	147 380	148 238	0.48%	0.51%
Chateaurenard	72 831	86 210	91 770	81 561	85 089	0.55%	0.75%
Fos-sur-Mer	183 897	203 540	205 290	196 525	197 668	0.33%	0.36%
Salon-de-Provence	65 209	78 940	83 390	74 284	77 095	0.62%	0.80%
Marseille-Aubagne	1 044 271	1 125 650	1 153 370	1 099 706	1 117 979	0.24%	0.32%
Bouches-du-Rhône	1 835 034	2 038 940	2 101 460	1 971 089	2 011 483	0.34%	0.44%
Toulon	546 258	596 160	626 930	579 443	599 538	0.28%	0.45%
Fréjus-Saint-Raphaël	154 555	170 160	183 500	165 592	174 279	0.31%	0.56%
Draguignan	105 969	127 760	140 360	120 249	128 160	0.61%	0.91%
Brignoles	91 450	117 210	133 340	107 930	117 781	0.80%	1.22%
Var	898 232	1 011 290	1 084 130	973 214	1 019 758	0.38%	0.61%
Orange	108 891	121 130	123 580	117 060	118 659	0.34%	0.41%
Carpentras	94 721	116 380	125 320	108 930	114 531	0.67%	0.91%
Apt	71 530	82 620	87 470	78 890	81 998	0.47%	0.65%
Avignon	224 463	251 200	257 460	242 258	246 332	0.36%	0.44%
Vaucluse	499 605	571 330	593 830	547 138	561 519	0.43%	0.56%
PACA	4 506 705	4 959 910	5 192 620	4 806 908	4 957 639	0.31%	0.46%
Béziers-Saint-Paul	255 669		304 000		286 905		0.56%
Montpellier (+Ld)	531 005		886 000		750 005		1.67%
Sète	101 383		140 000		126 184		1.05%
Hérault	888 057		1330000		1 163 093		1.31%
Lozère	73 509		77 000		75 809		0.15%
Lozère	73 509		77 000		75 809		0.15%
Alès-La Grand-Croix	133 761		120 500		124 444		-0.34%
Bagnols-sur-Cèze	103 151		124 500		117 261		0.61%
Ganges-Le Vigan	39 979		48 400		45 501		0.62%
Nîmes	354 618		465 000		425 880		0.88%
Gard	631 509		758 400		713085.6378		0.59%
Languedoc	1 593 075		2 165 400		1 951 988		1.00%

* Source SUD INSEE l'essentiel (Avril 2003) « La région pourrait compter 5 millions d'habitants dès 2020 »

* Source INSEE (Mars 2002) « Projections de population en Languedoc-Roussillon à l'horizon 2030 »

4. HYPOTHESES D'EVOLUTION DE LA POPULATION EN 2020

4.3 Deux scénarios d'évolution en région PACA

Les estimations d'évolution de la population faites par l'INSEE en région PACA, tiennent compte de deux hypothèses d'évolution future des soldes migratoires (voir ci-contre):

- la première hypothèse (*scénario de baisse de migrations inter-censitaires*) prolonge la baisse continue du solde migratoire régional observée depuis 30 ans,
- la seconde hypothèse s'inscrit dans une tendance migratoire comparable à la période 1990-1999, mais plus équilibrée entre les classes d'âges et les zones d'emploi (*scénario tendanciel rééquilibré*).

Selon les deux hypothèses de scénario, et en comparant avec la population en PACA recensée en 1999, on obtient les résultats suivants :

- dans l'hypothèse du *scénario de baisse de migrations*, la population régionale en 2030 serait de **4.960.000** habitants contre 4.510.000 en 1999, soit une augmentation de **10 %** ce qui correspond à un différentiel de 450.000 habitants, soit 15.100 habitants par an,
- dans l'hypothèse du *scénario tendanciel rééquilibré*, la population régionale en 2030 serait de **5.190.000** habitants contre 4.510.000 en 1999, soit une augmentation de **10 %** ce qui correspond à un différentiel de 690.000 habitants, soit 22.900 habitants par an.

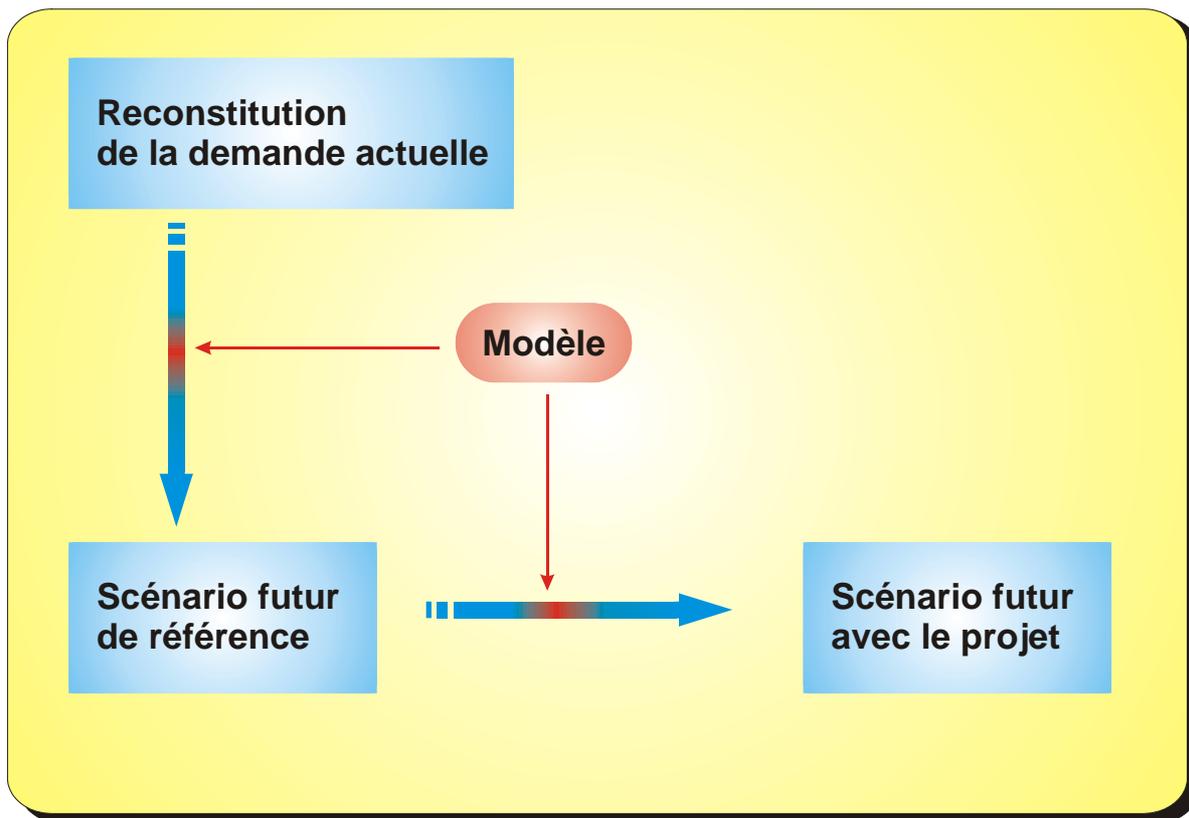
Pour les besoins de cette étude, il a été décidé de retenir le second scénario.

4.4 Les évolutions en Languedoc-Roussillon

Pour les zones d'emploi du **LANGUEDOC-ROUSSILLON**, la projection de population dans les bassins d'emploi est déterminée par l'INSEE (Modèle OMPHALE 2000) selon un unique scénario, le *scénario alternatif*, qui part du prolongement des tendances migratoires observé dans le bassin d'emploi entre 1990 et 1999.

Selon ces hypothèses (voir ci-contre), la population du Languedoc-Roussillon compterait **3.800.000** d'habitants en 2030 : elle augmenterait d'environ **20%** en 20 ans. Cependant, de nettes disparités apparaissent entre certains départements : l'Hérault arrive en tête avec une évolution de population de l'ordre de 50% sur 30 ans, la Lozère enregistre la plus faible croissance de la région avec un taux d'évolution de 4.5%.

Figure 7 : Processus de modélisation



5. ORGANISATION DE LA CHAÎNE DE MODELISATION

La chaîne de modélisation est constituée de deux sous-chaînes visant, dans un premier temps, à reconstituer la situation actuelle puis à modéliser les comportements pour les projeter dans le futur.

Chacune des sous-chaînes se compose d'un ou plusieurs modules principaux eux-mêmes composés de plusieurs modèles.

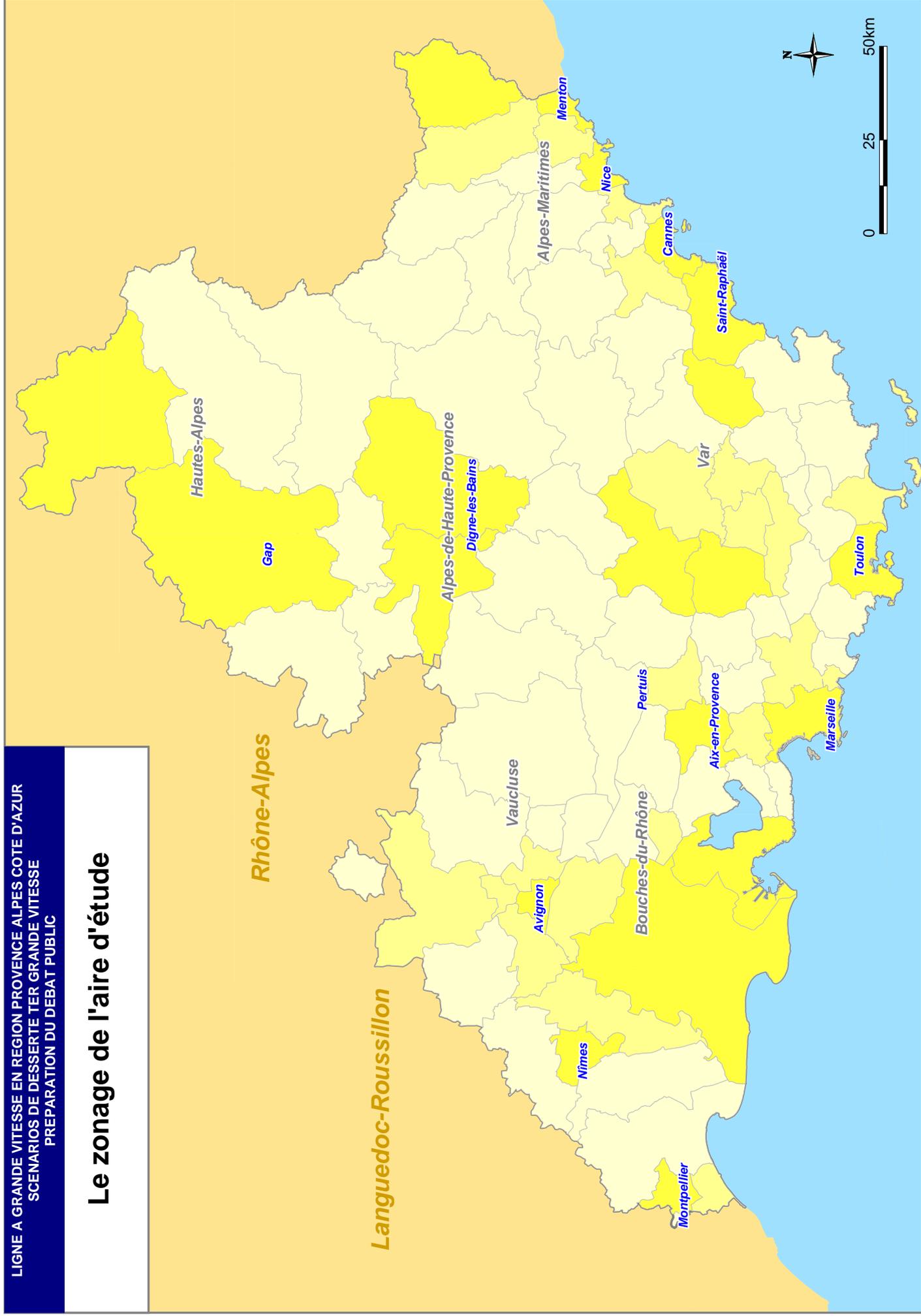
La première sous-chaîne a pour objectif de **reconstituer la demande actuelle**. Des données d'offre et de demande (enquêtes OD) en situation actuelle permettent d'évaluer la situation actuelle et de paramétrer des modèles mathématiques explicatifs des comportements de déplacements spécifiques à la zone d'étude. Ces modèles sont une représentation en langage mathématique d'un aspect de la logique des déplacements.

A partir de ces modèles, **la deuxième sous-chaîne** projette la **situation actuelle en situation de projet** et mesure les impacts sur les trafics des changements d'offre. La modélisation permet, en tant que représentation schématique d'un système, d'en décrire les structures et les propriétés et par la suite, d'analyser les effets consécutifs à des modifications internes ou externes.

Cette démarche générale de la modélisation est illustrée par le schéma ci-contre et les différentes étapes seront explicitées dans les paragraphes suivants.

La définition de l'aire d'étude et du zonage est la première étape de la modélisation. C'est un découpage du territoire qui doit être adapté aux besoins de la modélisation, et donc au problème à traiter, et respecter certaines contraintes.

Le zonage de l'aire d'étude



5. ORGANISATION DE LA CHAÎNE DE MODELISATION

5.1 L'aire d'étude et le zonage

L'**aire d'étude** est constituée comme le territoire sur lequel la ligne à grande vitesse pourra avoir un impact. A l'issu des premiers résultats du diagnostic, elle **recouvre la région PACA et une partie de la région Languedoc-Roussillon** : en effet, l'examen des flux routiers actuels (voir rapport diagnostic, page 25) montre que la région s'insère dans un arc méditerranéen allant de Montpellier à Nice mais qu'elle ne réalise que peu d'échanges avec le Nord.

Le zonage proposé, présenté ci-contre, recouvre l'aire d'étude qu'il découpe en 87 zones.

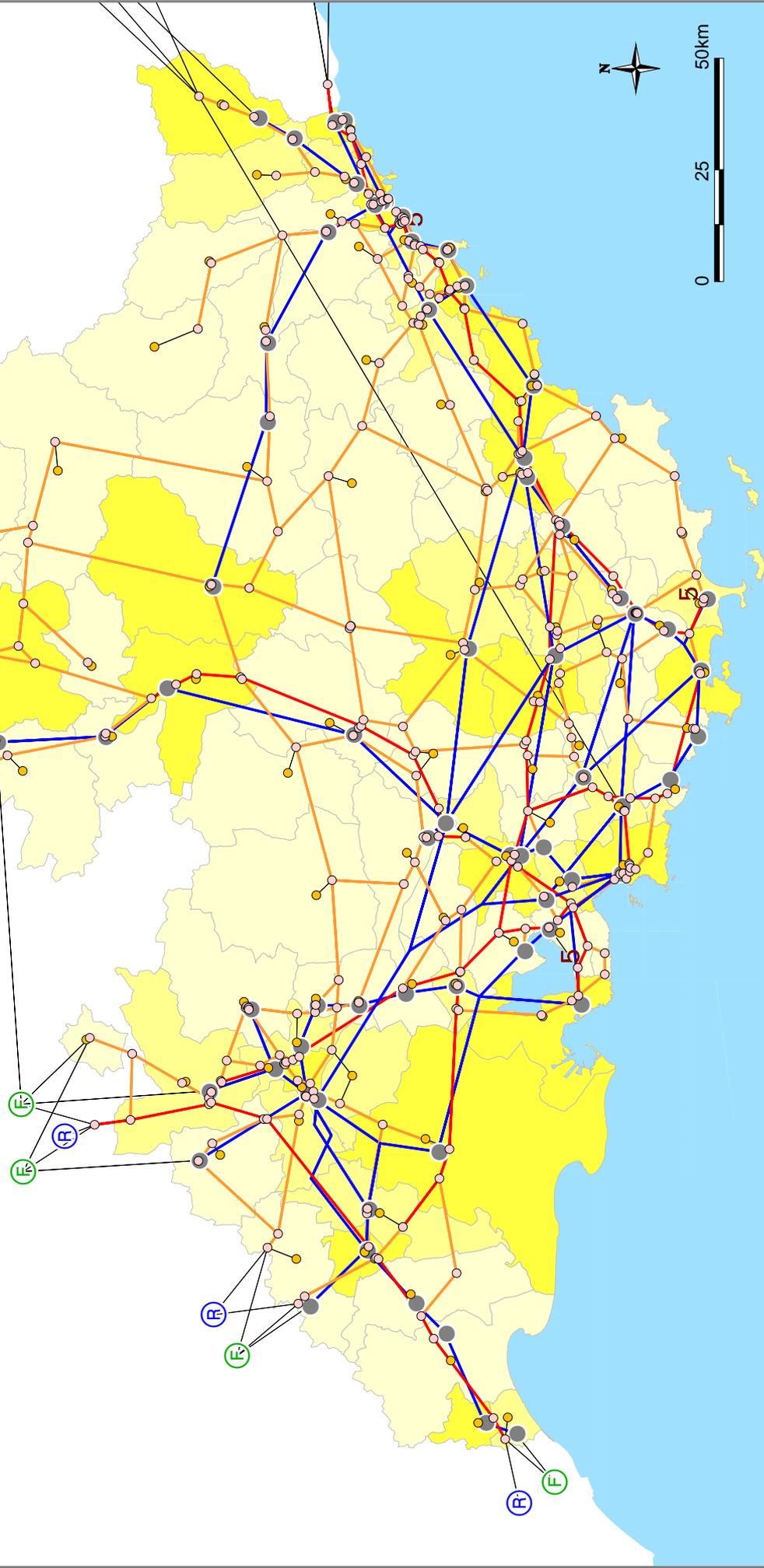
Principes de construction

- La principale difficulté du découpage en zones est de déterminer sa **finesse**, soit le nombre et la dimension des zones. Elle doit être adaptée à :
 - La précision du réseau modélisé. Le niveau de détail des prévisions découle de ce découpage.
 - La proximité avec les infrastructures concernées.
 - Des points d'entrée sur le réseau (gares).
- Le zonage dépend aussi fortement des **contraintes** suivantes :
 - respect des coupures naturelles et physiques (fleuves, relief...) pour lesquelles les mouvements transversaux sont difficiles ou impossibles (homogénéité territoriale) ;
 - prise en compte de la variété du tissu urbain (découpage plus fin sur les territoires urbains, plus grossiers pour les territoires peu denses...) (homogénéité démographique) ;
 - homogénéité des dessertes ferroviaires (même desserte pour toute la zone) ;
 - respect des limites administratives facilitant l'accès aux données et plus généralement de la disponibilité des données pour l'élaboration de la demande (population, emplois, matrice origine/destination...).
- Une fois le zonage défini, **plusieurs étapes** ont été réalisées :
 - Identification et ajout des générateurs particuliers (aéroports, échangeurs autoroutiers...) qui représentent une injection externe de trafic ;
 - Positionnement des centres de gravité ou « centroïdes » de chaque zone au centre de la population ;
 - ajout les points d'entrée.

Le réseau modélisé

Légende

-  Points d'injections route
-  Points d'injections fer
- 5** Aéroports
-  Gares
-  Noeuds
-  Centroids
-  Voies ferrées
-  Autoroutes
-  Routes



5. ORGANISATION DE LA CHAÎNE DE MODELISATION

5.2 Modélisation des réseaux de transport

L'offre est décrite à deux niveaux : l'infrastructure et les missions ou services (des trains et autres lignes TC).

5.2.1 L'infrastructure

Les infrastructures sont décrites par un graphe : ensemble de nœuds ou sommets (points d'accès aux zones, accès parking, entrée d'autoroute, gares, arrêts de bus...) reliés par des tronçons ou arcs physiques existants ou projetés (voie ferrée, route, ...). Des attributs sont associés aux nœuds et aux arcs afin de calculer des chemins.

Deux types de réseaux sont codés :

- le réseau routier qui sert aux modes automobile et bus.
- le réseau ferré,

Les **voies ferrées, autoroutes et routes principales** ont été dessinées en premier. Elles constituent un maillage grossier du territoire d'étude. Le réseau a ensuite été affiné par une sélection de routes nationales puis locales en fonction de la disposition des zones et de leur accessibilité.

Au choix des routes s'ajoute la sélection des **connecteurs** (ou arcs fictifs). Ils permettent de relier les centroïdes des zones (points d'émission/réception du trafic des zones), aux nœuds réels du réseau. Ils représentent la voirie locale de façon schématique (souvent un connecteur correspond à plusieurs voies de desserte regroupées).

5.2.2 Les missions

Chaque mission de transport collectif (train ou car) est décrite par :

- Son mode (train ou bus),
- Son itinéraire
- Son type de desserte (omnibus, semi-directe, intercités ou TGV)
- Son temps de parcours,
- Sa fréquence.

Afin de ne pas compliquer le modèle, les missions ferroviaires actuelles, extrêmement hétérogènes, ont été regroupées par classe homogène de desserte et de temps de parcours (plus de 100 classes).

5. ORGANISATION DE LA CHAÎNE DE MODELISATION

5.3 Reconstitution de la demande actuelle

Ce travail vise à calculer la demande tous modes et la demande en voiture ou en transports collectifs (train) en situation actuelle : combien de personnes souhaitent aller d'une zone à l'autre ? parmi celles-ci, combien utilisent la voiture, les transports en commun ?

Cette demande de déplacements, exprimée sous la forme d'une matrice de déplacements zone origine/zone destination servira de point de départ à la modélisation de scénarios.

La nature et le contenu de ce travail sont largement dépendants de la disponibilité et de la fiabilité des données de demande disponibles (enquêtes ménages, enquêtes gare à gare, statistiques billettiques, comptages, bases de données INSEE). La pertinence des données (ancienneté, fiabilité,...) doit être étudiée avant de décider de les utiliser.

Matrice tous modes : Dans la mesure où il ne semble pas exister de données complètes, cette matrice a été reconstituée en additionnant des matrices de déplacements voiture et transports collectifs reconstituées ci-dessous.

Matrice routière : Les observatoires des déplacements des régions PACA et Languedoc-Roussillon disposent du nombre de déplacements routiers pour les principales liaisons longue distance. La matrice des déplacements routiers a été reconstituée à l'aide d'un modèle gravitaire : calibré à partir des données des observatoires, il a été généralisé à l'ensemble de l'aire d'étude.

Matrice O/D Fer : Les données utilisées pour reconstituer la demande ferroviaire sont, d'une part, l'enquête réalisée à bord des TER des Alpes-Maritimes en 1998 et d'autre part, les données de trafic fournies par la SNCF sur les principales liaisons. Comme pour la demande routière, on a utilisé l'enquête pour calibrer un modèle gravitaire de distribution qui a ensuite été généralisé à l'ensemble de l'aire d'étude. Cette matrice a finalement été recalée pour s'ajuster sur les données fournies par liaison.

5. ORGANISATION DE LA CHAÎNE DE MODELISATION

5.4 Prévission de trafics futurs

L'objectif de cette chaîne de modélisation est de pouvoir déterminer des trafics et des volumes de déplacements futurs à partir d'informations sur :

- ◆ Une **situation de référence** ou de base, sur laquelle le modèle est calé (par exemple la situation actuelle),
- ◆ Des informations **sur l'offre de transport** future (temps de parcours routiers, desserte ferroviaire future, aménagements de pôles d'échanges...),
- ◆ Des informations sur **l'évolution du contexte socio – économique** et en particulier sur l'évolution de la mobilité.

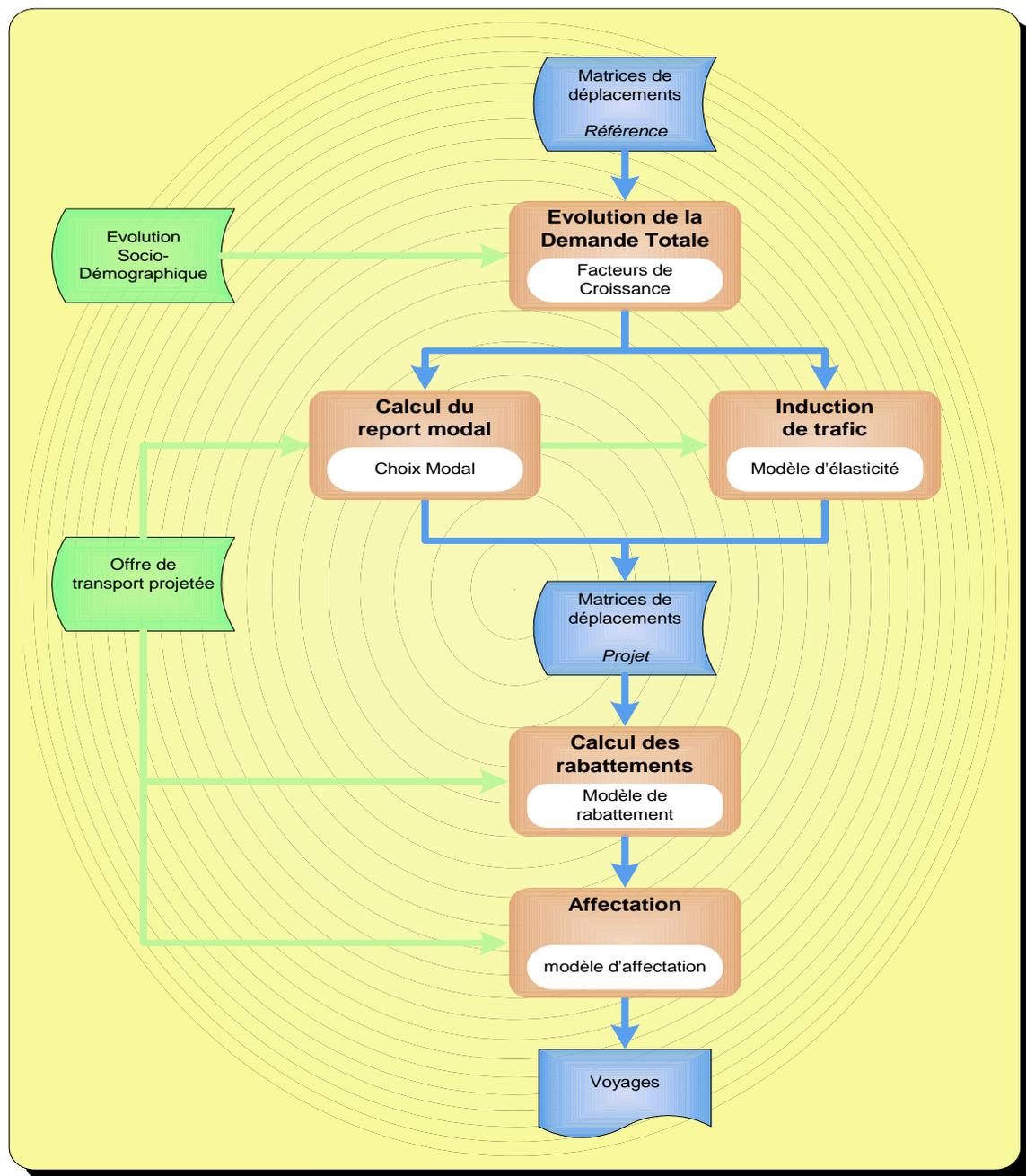
La chaîne présentée ci-dessous est donc appliquée au test de chaque scénario :

- Dans un premier temps, on modélise la situation de référence 2020 à partir de la demande actuelle, (en tenant compte de l'augmentation de la population et de l'amélioration de l'offre sur les TER et les trains grandes Lignes)
- Dans un second temps, on teste chaque scénario, à partir de la situation de référence 2020, en introduisant des nouvelles hypothèses de desserte ferroviaire.

Cette chaîne est constituée de quatre modules qui visent à reproduire le comportement des voyageurs en répondant aux questions qu'ils se posent :

- ◆ **Est-ce que je veux me déplacer et pour aller où ?** *Evolution de la demande*
On a ici considéré qu'à la mise en service des nouvelles dessertes, la structure de la demande n'évoluerait pas et on a donc utilisé un modèle de croissance.
- ◆ **En voiture ou en transports en commun ?** *Report modal*
On suppose que le voyageur réalise un premier choix structurant, son déplacement qui consiste à choisir sa voiture ou le train.
- ◆ **Est-ce que l'amélioration de la desserte m'incite à me déplacer plus ?** *Induction*
On calcule alors le nombre de nouveaux déplacements induits par l'amélioration de l'offre en transports collectifs.
- ◆ **Quel itinéraire choisir pour mon déplacement ?** *Rabattement et affectation*
On détermine finalement les itinéraires retenus par le voyageur, c'est-à-dire les lignes de train ou de transports collectifs qu'il emprunte en intégrant dans cette recherche les modes d'accès et de diffusion des gares.

Figure 10 : Chaîne de modélisation



5. ORGANISATION DE LA CHAÎNE DE MODELISATION

5.4.1 Evolution de la demande tous modes

On utilise un modèle d'évolution de la demande à facteurs de croissance (type Fratar). Ce modèle est appliqué à chacune des matrices Fer et Route.

5.4.2 Calcul du report modal

On utilise ici un modèle Logit de choix modal, en l'utilisant sous sa forme incrémentale. Pour chaque OD, la part de marché d'un mode en projet peut être calculée à partir de la part de marché du mode en référence et de la variation des temps généralisés :

$$\text{Prob}_{TCf} = \frac{\text{Prob}_{TCi} \times e^{-0.2 \Delta T_{psTC}}}{\text{Prob}_{TCi} \times e^{-0.2 \Delta T_{psTC}} + \text{Prob}_{VPi} \times e^{-0.2 \Delta T_{psVP}}}$$

et

$$\text{Prob}_{VPf} = \frac{\text{Prob}_{VPi} \times e^{-0.2 \Delta T_{psVP}}}{\text{Prob}_{TCi} \times e^{-0.2 \Delta T_{psTC}} + \text{Prob}_{VPi} \times e^{-0.2 \Delta T_{psVP}}}$$

Où : Prob_{TCf} et Prob_{VPf} représentent les parts modales finales (après modification de l'offre)

Prob_{TCi} et Prob_{VPi} représentent les parts modales initiales

ΔT_{psTC} et ΔT_{psVP} représentent les variations de temps généralisé des modes transports en commun et voiture particulière

5.4.3 L'induction de trafic

Le calcul du trafic induit est réalisé parallèlement au choix modal. Il vise à modéliser l'augmentation de la demande liée à l'amélioration de l'offre pour chaque mode (Fer et voiture).

On utilise une fonction d'élasticité « linéarisée » où, pour chaque OD :
$$e = \frac{\frac{D_{TCf} - D_{TCi}}{D_{TCi}}}{\frac{Tps_{TCf} - Tps_{TCi}}{Tps_{TCi}}}$$

Où : D_{TCi} représentent le nombre de déplacements en TC sur l'OD après le choix modal et avant le module d'induction

D_{TCf} représentent le nombre de déplacements en TC sur l'OD après le module d'induction

e représente l'élasticité. Les valeurs de e , qui sont supposées constantes quelque soit le périmètre, sont :

- pour les cas où il y a un gain de temps $e = 4$
- pour les cas où il y a une perte de temps $e = 2$

Tps_{TCi} et Tps_{TCf} représentent les temps généralisés de parcours en transports en commun en référence et en projet.

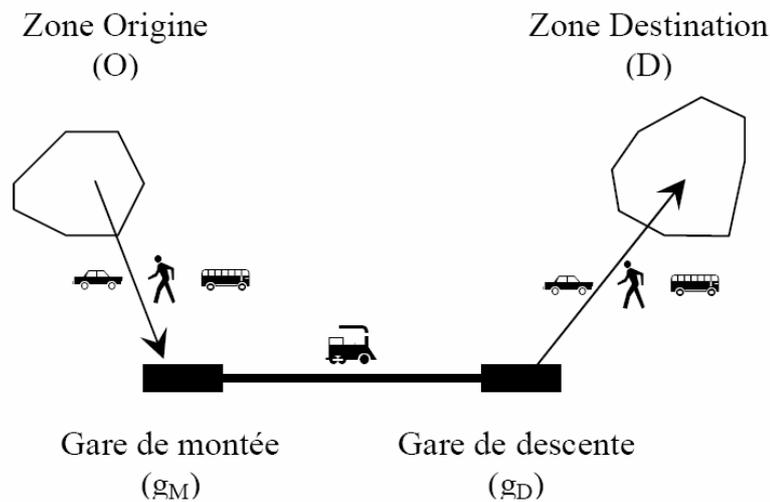
Le même type de modèle peut être appliqué à la matrice des déplacements en voiture. Toutefois, dans la mesure où nous n'avons pas testé de variation de l'offre routière, l'élasticité est toujours égale à 1.

Figure 11 : Principes du modèle de rabattement

1. On découpe chaque déplacement en trois voyages :
 - ◆ un voyage entre la zone origine (O) et la gare de Montée (g_M)
 - ◆ un voyage entre la gare de Montée (g_M) et la gare de Descente (g_D)
 - ◆ un voyage entre la gare de Descente (g_D) et la zone destination (D)
2. On calcule les temps de parcours associés à chaque voyage en fonction :
 - ◆ du mode de rabattement (m_R) : voiture, marche ou bus
 - ◆ du mode de diffusion (m_D) : voiture, marche ou bus
 - ◆ du temps de parcours en train
3. On affecte entre les différentes combinaisons possibles de gares et de modes (g_M , g_D , m_R et m_D) en utilisant un modèle logit qui donne la probabilité de choix d'un itinéraire :

$$\text{Prob}_{g_M, g_D, m_R, m_D} = \frac{e^{-\text{tps}_{R_O}(O, g_M) - \text{tps}_{\text{Fer}}(g_M, g_D) - \text{tps}_{D_O}(g_D, D)}}{\sum_{g_M, g_D, m_R, m_D} e^{-\text{tps}_R(O, g_M) - \text{tps}_{\text{Fer}}(g_M, g_D) - \text{tps}_D(g_D, D)}}$$

Où : $\text{Prob}_{g_M, g_D, m_R, m_D}$ est la probabilité de choisir cet itinéraire
 tps_R est le temps généralisé de rabattement suivant le mode m_R retenu
 tps_D est le temps généralisé de diffusion suivant le mode m_D retenu
 tps_{Fer} est le temps généralisé de parcours en train



5. ORGANISATION DE LA CHAÎNE DE MODELISATION

5.4.4 Calcul des rabattements

On observe dans les enquêtes que plus de la moitié des voyageurs utilisent leur voiture pour accéder aux gares du réseau ferroviaire. Nous avons donc modélisé spécifiquement le choix du mode et du lieu (gare) de rabattement et de diffusion (voir figure ci-contre).

Ce modèle a été paramétré à partir des données de l'enquête réalisée dans les Alpes-Maritimes puis généralisé à la région. Nous avons retenu deux modes principaux de rabattement et de diffusion dans l'aire d'étude : la voiture et les transports en commun + la marche.

5.4.5 Affectation des trafics

Le modèle de rabattement fournissant des matrices de voyages gare à gare, le modèle d'affectation répartit ces OD voyageurs entre les cinq types de missions (omnibus, semi-directs, intercités, TGV ou TERGV) à l'aide d'un modèle Logit puis entre les différents trains possibles proportionnellement aux fréquences utiles (on élimine les trains dont le temps de parcours est trop long).

5.4.6 Les temps généralisés

Toute cette structure de modélisation se fonde sur l'utilisation de fonctions de temps généralisés.

Aujourd'hui, les fonctions prises en compte sont :

$$\textbf{Affectation : } TPS_{\text{trajet FER}} = TPS_{\text{Circ}} + TPS_{\text{Attente}} + TPS_{\text{Montée}}$$

$$\textbf{Rabattement : } TPS_{TC} = TPS_{\text{rabattement}} + TPS_{\text{trajet FER}} + TPS_{\text{diffusion}}$$

$$\textbf{Choix modal : } \begin{cases} TG_{TC} = \alpha TPS_{TC} + \lambda \\ TG_{VP} = \beta TPS_{VP} + \gamma STAT \end{cases}$$

Comme on le voit, le coût du trajet n'est pas explicitement pris en compte.

Théoriquement, il est toutefois possible de le prendre en compte en l'intégrant dans la formule du temps généralisé.

Dans la pratique, cette prise en compte se heurte à la forte corrélation qui existe entre les variables temps de parcours et coût. Il serait donc nécessaire, pour calibrer une telle formule, de disposer de bases de données dans lesquelles le coût et le temps varieraient de façon différenciée.

